

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones



TRABAJO DE DIPLOMA

Propuesta de una guía general para el diseño de Redes de Acceso de alta velocidad

Autor: Yuri Maikel Sánchez Carvajal

Tutores: MSc. José de las Nieves Rodríguez Sánchez

Dr. Pedro José Arcos Ríos

Santa Clara, Cuba

2014

"Año 56 de la Revolución"



Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones



TRABAJO DE DIPLOMA

***Propuesta de una guía general para el diseño de Redes
de Acceso de alta velocidad***

Autor: Yuri Maikel Sánchez Carvajal

E-mail: ysanchez@uclv.edu.cu

Tutores: MSc. José de las Nieves Rodríguez Sánchez

E-mail: jose.rodriguezsanchez@etecsa.cu

Dr. Pedro José Arcos Ríos

E-mail: parco@uclv.edu.cu

Santa Clara, Cuba

2014

"Año 56 de la Revolución"





Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“Inclinar la cabeza ante los libros es la única manera de levantarla ante los hombres”

José Martí

DEDICATORIA

A mis padres y hermana, Ubaldo, María de los Ángeles y Lianet, que son mi razón de ser, por poner siempre mi educación por encima de todo, por su amor, porque siempre tuvieron una palabra de aliento en los momentos difíciles a lo largo de mi vida estudiantil y porque gracias a ellos, hoy hago realidad una de mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Vida por darme la oportunidad e iluminar mi camino para lograr transitar por el sendero de los estudios universitarios. A mi familia toda, que sin ellos no tengo razón para existir. A la Revolución Cubana por darme la oportunidad. Al colectivo de profesores que años tras años colaboraron en mi formación profesional. A mis Tutores y amigos Pepito y Pedro por todo el apoyo brindado con tanta ética y carisma. A mis amigos y compañeros de aula, una gran oportunidad de conocernos y compartir tantas cosas buenas y otras no tan buenas. A todas las personas que día a día han dado algo de sí para ayudarme a lograr este sueño, ¿y por qué no?, también quiero agradecer a quienes en un momento negaron su apoyo, pues ayudaron a trazar mi propia estrategia y poder llegar hoy aquí.

..... a todos, muchas gracias por existir.....

TAREA TÉCNICA

Para cumplir con los objetivos propuestos en el presente proyecto se plantean las siguientes tareas técnicas:

1. Revisión de la bibliografía existente y estudio de las principales características de las redes de acceso.
2. Investigación sobre los diferentes tipos de fabricantes que existen en la actualidad y selección del equipamiento más adecuado, para la conformación de una red de acceso de alta velocidad.
3. Realización de una propuesta de una guía general para el diseño de redes de acceso de alta velocidad.
4. Elaboración del proyecto final.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

En el presente trabajo de diploma se realizó un estudio de las redes de acceso que existen en Cuba, sus proyecciones futuras, así como las existentes a nivel internacional; se ofrece además información de algunas tecnologías de acceso de banda ancha que se ajustan a la realidad cubana. Se realiza de conjunto, un análisis de la tecnología de Redes Ópticas Pasivas con capacidad de Gigabit (GPON), donde se exponen sus principales características, modo de funcionamiento y ventajas con respecto a otras tecnologías de Redes Ópticas Pasivas (PON), así como una profunda caracterización y selección del equipamiento necesario. La tecnología GPON aún no se encuentra en desarrollo en el país; resulta idónea gracias a sus múltiples beneficios tecnológicos, pues permite la entrega de servicios TRIPLE PLAY a los usuarios a precios módicos. Todo lo anteriormente expuesto se utiliza como base de la fundamentación de una guía general para el diseño de una red de acceso de alta velocidad en Cuba, tratada a través de ejemplos, empleando como escenario la provincia de Villa Clara, donde son protagonistas el incremento y la diversificación de los servicios de telecomunicaciones.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TAREA TÉCNICA	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. ASPECTOS TEÓRICOS RELACIONADOS CON REDES DE ACCESO	4
1.1 Redes de acceso.....	5
1.2 Tecnologías de acceso xDSL e inalámbricas.....	5
1.2.1 VDSL	6
1.2.2 ADSL	6
1.2.3 Tecnologías Inalámbricas (WLAN).....	7
1.3 Principales protocolos y técnicas utilizadas para la transmisión	8
1.3.1 TDM.....	8
1.3.2 TDMA.....	9
1.3.3 GEM.....	9
1.3.4 AES	10
1.4 Medios de transmisión	10

1.4.1 Fibra óptica	10
1.4.2 Empalmes y conectores	12
1.5 Redes Ópticas Pasivas (PON).....	13
1.5.1 APON.....	14
1.5.2 BPON	14
1.5.3 EPON	15
1.5.4 Gigabit PON(GPON).....	15
1.6 Funcionamiento de GPON.....	15
1.6.1 Tráfico descendente	16
1.6.2 Tráfico ascendente.....	16
1.7 Elementos de la red GPON.....	17
1.7.1 Elementos activos	17
1.7.1.1 OLT.....	17
1.7.1.2 ONT	18
1.7.1.3 MDU	18
1.7.1.4 ONU.....	19
1.7.2 Elementos pasivos	19
1.7.2.1 <i>Splitters</i>	19
1.7.2.2 ODF	20
1.8 Arquitecturas de redes de acceso	20
1.8.1 FTTN.....	21
1.8.2 FTTC	21
1.8.3 FTTB.....	21
1.8.4 FTTH.....	21

CAPÍTULO 2. EQUIPAMIENTO A UTILIZAR EN UNA RED DE ACCESO DE ALTA VELOCIDAD	22
2.1 Ventajas y características de la tecnología seleccionada: GPON	22
2.2 Selección de equipamiento	23
2.2.1 MOTOROLA (OLT-AXS1800)	23
2.2.2 MOTOROLA (ONT-1400GT)	24
2.2.3 ALCATEL-LUCENT (OLT-7342).	24
2.2.4 ALCATEL-LUCENT INDOOR (ONT I-040)	25
2.2.5 HUAWEI (OLT-MA5600T).....	26
2.2.6 HUAWEI (ONT HG865).....	27
2.3 Tablas comparativas y selección final de equipos	28
2.3.1 Justificación	30
2.4 Equipamiento complementario	30
2.4.1 Terminal de mantenimiento	30
2.4.2 HUAWEI (ONU HG8247)	31
2.4.3 HUAWEI (MDU MA5626).....	31
2.4.4 AURORA NETWORK (<i>Splitter</i> OP3xSx).....	32
2.4.5 HUAWEI (GPON <i>EXTENDER</i> WO. H04B)	32
2.4.6 <i>Switch</i> integrador	33
2.4.7 Routers MPLS.....	34
2.4.8 DSLAM	35
CAPÍTULO 3. PASOS FUNDAMENTALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ACCESO.....	36
3.1 Guía general a implementar	36
3.1.1 Analizar las redes existentes en el área seleccionada	36

3.1.2 Clasificación de usuarios en el área seleccionada	36
3.1.3 Relacionar los estudios geográficos de redes y usuarios	37
3.1.4 Estudio de tecnologías de redes de acceso existentes en la actualidad.....	37
3.1.5 Realizar el proceso de proyecto e implementación de la red.....	37
3.2 Implementación práctica de los pasos generales en la ciudad de Santa Clara.....	37
3.2.1 Zona Uclv	40
3.2.1.1 Terminales DSLAM	45
3.2.1.2 Conclusión del ejemplo.	45
3.2.2 Zona Industrial	46
3.2.2.1 Terminales DSLAM	49
3.2.2.2 Terminales WI-FI	49
3.2.2.3 Conclusión del ejemplo	50
3.2.3 Zona Centro	50
3.2.3.1 Conclusión del ejemplo	53
3.3 Generalización del proyecto a toda la provincia de Villa Clara	53
3.4 Análisis Económico	57
3.5 Conclusiones	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
Conclusiones	59
Recomendaciones	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
GLOSARIO DE TÉRMINOS	64
ANEXOS	68

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de conectividad en el mundo de hoy y el elevado volumen de información que en las redes de datos se maneja, conlleva a la necesidad de buscar soluciones para redes de acceso que satisfagan las necesidades de los usuarios en cuanto a ancho de banda, velocidad de transmisión y disponibilidad de los servicios(Bisbé y García, 2011).

En nuestros días toda una gama de aplicaciones y servicios, tales como el correo electrónico, la navegación por Internet, entre otras, se van adentrando en la vida cotidiana, haciendo a las personas cada vez más dependientes de la tecnología. Diversas ciudades de Europa y Asia cuentan con lo que se denomina Ciudad *IP*, la cual es la implementación de una red *TRIPLE PLAY* de alta capacidad, es decir, una red de voz, datos y televisión de altas prestaciones(Camacho, 2011).

En Cuba el creciente incremento de tráfico y el reducido ancho de banda hacen muy ineficientes las redes actuales, por lo que resulta necesario y crucial la implementación de medios con mayor capacidad y mejor rendimiento. La fibra óptica es uno de los mejores ejemplos que podemos denominar como avance tecnológico y dentro de las tecnologías que abrazan este recurso podemos citar GPON (Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit, de las siglas en inglés *Gigabit – Capable Passive Optical Network*)(Bisbé y García, 2011).

Entre las mayores ventajas que ofrece GPON, se destaca alta confiabilidad, rendimiento y una solución viable a nuestras demandas, pues trabaja con nodos de conectividad pasivos lo que trae consigo menores costos de mantenimientos y operación. Además permite reutilizar una gran parte de las redes existentes, pues la fibra óptica instalada en nuestro país, en su totalidad es monomodo G.652 siendo la misma con la cual opera este sistema, lo que abarata en gran medida la red de distribución(Bisbé y García, 2011).

Por tal motivo el presente estudio tiene como finalidad la propuesta de una guía de pasos generales para implementar una red de acceso de alta velocidad en el municipio de Santa Clara y su extensión a toda la provincia de Villa Clara. Esta estrategia, como expresión del proceso revolucionario cubano, tiene al ciudadano en el centro de sus objetivos, busca elevar su calidad de vida en su desempeño laboral, educacional, cultural, social, político y mantener el fortalecimiento, la ampliación de los logros, así como beneficios que la Revolución le ha dado para alcanzar una cultura general integral. Además el fácil acceso a Internet, puede beneficiar a la economía nacional y resultaría decisivo para romper el monopolio de la información y llegar a todos los rincones del mundo, estableciendo una amplia comunicación con todo aquel usuario (personas e instituciones) que deseen acceder a la red.

Debido a que en la actualidad las redes de acceso existentes en nuestro país no satisfacen las peticiones crecientes de velocidad de transmisión y usuarios potenciales, puede plantearse como **problema de investigación**: ¿Cómo diseñar redes de acceso de alta velocidad que cumplan con las necesidades tecnológicas y económicas reales en la Cuba actual?

Para dar solución al mismo la investigación se traza como **objetivo general**:

Proponer una guía de pasos generales para el diseño de una red de acceso de alta velocidad con altas prestaciones de servicios, tomando como escenario la provincia de Villa Clara.

El mismo puede dividirse en los siguientes **objetivos específicos**:

- ✚ Analizar las redes de acceso que existen en la actualidad en Cuba y sus proyecciones futuras.
- ✚ Estudiar redes de acceso de alta velocidad.
- ✚ Confeccionar los pasos fundamentales para el diseño de una red de acceso de alta velocidad, capaz de brindar una elevada cobertura con multiservicios de mayor eficiencia, velocidad, calidad y a un menor costo para el abonado.

De los objetivos específicos propuestos, surgen las siguientes **interrogantes científicas**:

- ✚ ¿Cuáles son las necesidades actuales de los usuarios?
- ✚ ¿Cuáles tecnologías actuales pueden satisfacer con éxito estas demandas?

- ✚ ¿Cuál es la tecnología más apropiada a implementar en Cuba?
- ✚ ¿Cómo introducir estas tecnologías en las redes existentes en Villa Clara?

El trabajo de diploma está estructurado de la siguiente forma: introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

En el primer capítulo se abordan los principales elementos teóricos referentes a redes de acceso, haciendo énfasis en la familia PON (Red Óptica Pasiva, del inglés *Passive Optical Network*), una diversa caracterización de las principales tecnologías y métodos aplicables a la misma.

En el segundo capítulo se realiza un estudio detallado de los motivos que conllevan a la selección de la tecnología adecuada, una comparación entre diversos fabricantes y las características técnicas del equipamiento a utilizar.

En el tercer y último capítulo se presenta la propuesta de una guía de pasos generales para el diseño de una red de acceso de alta velocidad tomando como referencia la provincia de Villa Clara.

CAPÍTULO 1. ASPECTOS TEÓRICOS RELACIONADOS CON REDES DE ACCESO

De modo general las redes de telecomunicaciones tienen una estructura que comprenden cuatro aspectos fundamentales:

- ✚ Red de transporte: Es la encargada de interconectar las centrales de telecomunicaciones y tiene como características fundamentales las largas distancias y los grandes volúmenes de información a transportar.
- ✚ Multiplex: Es la encargada de enrutar la información de la red de transporte.
- ✚ Conmutación: Selecciona los usuarios específicos y las rutas a tomar por ellos estableciendo la comunicación punto a punto. En la actualidad evoluciona con el desarrollo de las redes de datos.
- ✚ Red de acceso: Se encarga de interconectar a los proveedores de servicios con los usuarios. Con la evolución de las redes de datos y de las exigencias de estos, el ancho de banda, velocidad de transmisión, disponibilidad y la calidad de los servicios que transportan estas redes han aumentado considerablemente en las últimas dos décadas.

Por lo antes descrito la evolución de las redes de acceso conlleva a una utilización más eficiente del par de cobre y la implementación de nuevas tecnologías relacionadas con redes inalámbricas y de fibras ópticas(Bocalandro, 2010).

1.1 Redes de acceso

En la figura 1.1 se muestra la estructura de una red de acceso tradicional. Está localizada entre la Central Telefónica Local o nodo de servicio y el Equipo Terminal del Suscriptor. Compuesta por una serie de entidades de transporte (Equipos de línea y facilidades de transmisión). Es la implementación de un sistema que suministra el transporte de la información y soporta las capacidades de los servicios de telecomunicaciones, representando así la parte mayor de la red en general (Bocalandro, 2010, Camacho, 2011).

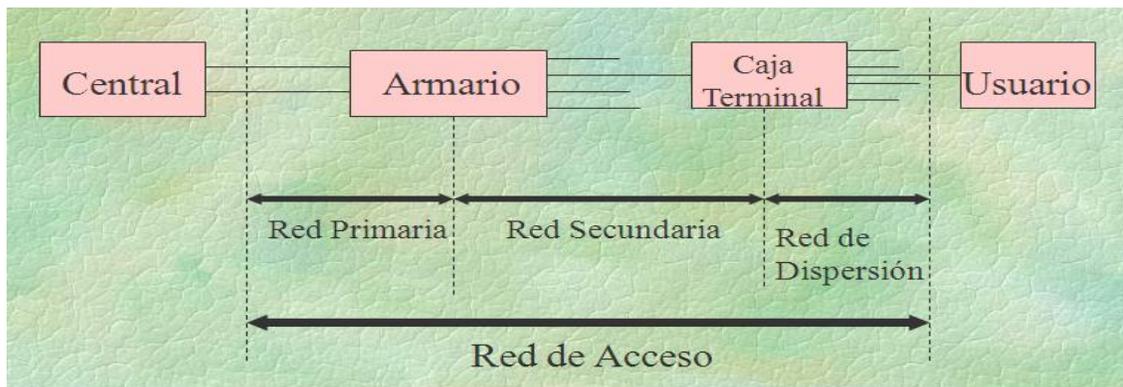


Figura 1.1 Red de acceso tradicional (Bocalandro, 2010).

1.1.1 Clasificación de los Modos de Acceso

En términos de modos de transmisión una red de acceso puede clasificarse como cableada o inalámbrica (Bocalandro, 2010):

- ✚ La red cableada incluye la red de acceso de pares de cobre, de fibras ópticas, y una red híbrida de cobre y fibras ópticas.
- ✚ La red de acceso inalámbrica incluye la red inalámbrica fija y móvil.

1.2 Tecnologías de acceso xDSL e inalámbricas

La tecnología xDSL (x- Línea Digital de Abonado, de las siglas en inglés *x-Digital Subscriber Line*), permiten transmitir regímenes de datos de alta velocidad sobre el par trenzado telefónico utilizando códigos de línea y técnicas de modulación adecuadas. A continuación se muestran las más destacadas de esta familia (Álvarez et al., 2009).

1.2.1 VDSL

La tecnología VDSL (DSL de muy alta tasa de transferencia, descendiente del inglés *Very High Bit-rate Digital Subscriber Line*), proporciona una transmisión de datos hasta un límite teórico de 52 Mbps de bajada y 16 Mbps de subida sobre una simple línea de par trenzado. Actualmente, el estándar VDSL utiliza hasta cuatro bandas de frecuencia diferentes, dos para la subida (del cliente hacia el proveedor) y dos para la bajada, siendo capaz de soportar aplicaciones que requieren un alto ancho de banda como HDTV (Televisión de Alta Definición, del inglés *High Definition Television*). Entre sus mayores ventajas se destaca que puede operar tanto en modo simétrico como en asimétrico.

En la tabla 1.1 se muestran algunas velocidades típicas de VDSL en función de la longitud de la línea, para los modos de funcionamiento simétrico y asimétrico. Con fondo gris el funcionamiento asimétrico y con fondo blanco el simétrico (Corletti, 2011).

Tabla 1.1 Velocidades típicas de VDSL en función de la distancia de la línea (Labeaga, 2007).

Distancia (metros)	Velocidad de datos en sentido descendente (Mbps)	Velocidad de datos en sentido ascendente (Mbps)
300	52	6.4
300	26	26
1000	26	3.2
1000	13	13
1500	13	1.6

1.2.2 ADSL

La tecnología ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica, derivado del inglés *Asymmetric Digital Subscriber Line*), consiste en una línea digital de alta velocidad (banda ancha), apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado. Es una tecnología de acceso a Internet de banda ancha, lo que implica, mayor capacidad para transmitir datos, que a su vez, se traduce en mayor velocidad. Esto se consigue mediante la utilización de una banda de frecuencias más alta que la utilizada en las conversaciones telefónicas convencionales (3003.400Hz). Se puede apreciar en la

tabla 1.2 las diferentes tecnologías ADSL existentes y sus velocidades típicas correspondientes(Corletti, 2011).

Tabla 1.2 Velocidades típicas de ADSL en función de la distancia de la línea(Labeaga, 2007).

	ADSL	ADSL 2	ADSL 2+
Ancho de banda de bajada	0,5 MHz.	1,1 MHz.	2,2 MHz.
Velocidad máxima de subida	0,8 Mbps	1 Mbps	1,2 Mbps
Velocidad máxima de bajada	8 Mbps	12 Mbps	24 Mbps
Distancia	2 km.	2 km.	2,5 km.
Tiempo de sincronización	10 a 30 seg.	3 seg.	3 seg.
Corrección de errores	No	Sí	Sí

1.2.3 Tecnologías Inalámbricas (WLAN)

Dentro de las tecnologías inalámbricas se destaca WLAN (Redes Inalámbricas de Área Local, del inglés *Wireless Local Area Network*), la cual permiten la interconexión de ordenadores en área local como las LAN (Redes de Área Local, procedido del inglés *Local Area Network*), clásicas, pero sin necesidad de usar cables(Migga, 2013, Pellejero et al., 2006). Las WLAN funcionan en bandas de frecuencia que no requieren licencia de uso, por ejemplo en torno a 2,4 GHz, y pueden utilizarse de dos formas básicas:

- ✚ Para establecer redes *ad-hoc*, (redes cerradas), donde un grupo de terminales próximos se comunican entre sí sin acceso a redes externas, por ejemplo un grupo de usuarios en una sala de reuniones(Salvetti, 2011, Coya et al., 2014).
- ✚ Como redes de acceso inalámbricas donde uno o varios terminales se comunican con un equipo denominado punto de acceso, a través del cual pueden acceder a redes externas(Corletti, 2011, Holt y Huang, 2010).

WI-FI (Red Local Inalámbrica de alta velocidad, de las siglas en inglés *Wireless-Fidelity*), es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. Fue creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas, sin embargo el estándar de acceso inalámbrico IEEE 802.16/WiMAX (Acceso Inalámbrico por Microondas, del

inglés *Worldwide Interoperability for Microwave Access*), se encuadra dentro de la familia de soluciones para proporcionar acceso de banda ancha sin hilos en la última milla; permite el empleo de las Redes Metropolitanas de acceso a *Internet*, facilitando también las conexiones en zonas rurales. El estándar IEEE 802.16 hace referencia a un sistema BWA (Acceso Inalámbrico de Banda Ancha, proveniente del inglés *Broadband Wireless Access*), de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50 km), escalable, y que permite trabajar en bandas del espectro tanto "licenciado" como "no licenciado", (ver Anexo 8)(Carbelleiro, 2012, Kurose y Ross, 2010, Benerejei y Chowdhury, 2013).

1.3 Principales protocolos y técnicas utilizadas para la transmisión

En la transmisión de la información tanto para el sentido ascendente como para el descendente se aprueban un conjunto de protocolos y técnicas que permiten un mejor desempeño de la red y una mayor seguridad en el servicio. A continuación se muestran sus principales características.

1.3.1 TDM

Esta técnica TDM (Multiplexación por División del Tiempo, del inglés *Time Division Multiplexing*), se utiliza en sentido descendente y consiste en transmitir varias señales simultáneamente sobre un mismo enlace (medio de transmisión). Para este efecto se divide el tiempo en períodos (ranuras o time slots), asignándose una ranura de tiempo a cada señal.

La multiplexación TDM es posible cuando la velocidad de transmisión disponible del medio excede la velocidad de las señales a transmitir. Múltiples señales pueden transmitirse sobre una única fibra, intercalando porciones de cada señal en el tiempo. Dicho intercalado puede hacerse a nivel de bit, byte o bloques más grandes. La figura 1.2 muestra un esquema de TDM, donde varios computadores desean enviar datos por el medio de transmisión y son ordenados cada uno en un *time slot*. La multiplexación TDM puede ser de dos tipos: sincrónica y estadística. La TDM sincrónica realiza una mezcla en el tiempo de varias señales digitales, las ranuras temporales se preasignan y fijan a las distintas fuentes. Estas ranuras temporales se asignan, incluso, si no hay datos y la TDM estadística, en cambio, distribuye las ranuras de manera dinámica, sólo cuando haya datos para transmitir(Cevallos y M.Montalvo, 2010).

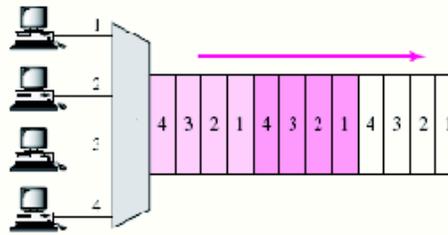


Figura 1.2 Esquema de TDM(Cevallos y M.Montalvo, 2010).

1.3.2 TDMA

Esta técnica TDMA (Acceso Múltiple por División del Tiempo, proveniente del inglés *Time Division Multiple Access*), se utiliza en sentido ascendente, donde la OLT (Terminal de Línea Óptica, originario del inglés *Optical Line Termination*), controla el canal de subida, asignando ventanas de tiempo de transmisión a cada ONT(Terminal de Red Óptica, en inglés *Optical Network Termination*). Se requiere un control de acceso al medio para evitar colisiones y para distribuir el ancho de banda entre los usuarios. Es necesaria la perfecta sincronización de los paquetes ascendentes para que la OLT sea capaz de reconstruir la trama GPON. Por esta razón resulta vital que la OLT conozca la distancia a la que se encuentra cada ONT para tener en cuenta el retardo que sufre la información desde que parte del usuario. Además, mediante TDMA sólo se transmite cuando sea pertinente, por lo cual, no sufre de la ineficiencia de las tecnologías TDM donde el período temporal para transmitir es fijo e independiente de que se tengan datos o no disponibles(Goana y Santillán, 2013).

1.3.3 GEM

El método de encapsulación que emplea GPON es GEM (Método de Encapsulación GPON, del inglés *GPON Encapsulation Method*), que permite soportar cualquier tipo de servicio *Ethernet*, TDM, etc. En un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125 μ s. GEM resulta de una adaptación del estándar definido en la recomendación ITU-T G.7041(Unión Internacional de Telecomunicaciones, derivado del inglés *International Telecommunication Union*). Este procedimiento proporciona un mecanismo genérico para adaptar el tráfico de señales cliente de nivel superior en una red de transporte(Goana y Santillán, 2013).

1.3.4 AES

El método AES (Estándar de Criptografía Simétrica, estipulado en inglés *Advanced Encryption Estándar*), tiene un tamaño de bloque fijo de 128 bits y un tamaño de clave de 128, 192, o 256 bits. Este sistema opera en una matriz de 4 x 4 bytes, denominado matriz de estados o *state*. La mayoría de los cálculos se realizan en un campo finito. El cifrado se especifica en términos de repeticiones de los pasos de procesamiento que se aplican para compensar las rondas en función de las transformaciones entre la entrada de texto y el resultado final del cifrado. Una serie de rutinas se aplican para transformar el sistema de cifrado de texto final al original, utilizando la misma clave de cifrado (Cevallos y M.Montalvo, 2010).

1.4 Medios de transmisión

Las redes de acceso a través de la historia han evolucionado en gran medida. Debido a la necesidad de transmitir nuevas prestaciones con nuevos servicios, se ha requerido de mayores anchos de banda y velocidades, evolucionando así los medios de transmisión inalámbrico o por cable, que puede ir desde un par telefónico, pasando por cable coaxial hasta un cable de fibra óptica.

1.4.1 Fibra óptica

La fibra óptica es, según la mayoría de los autores, una guía de onda luminosa que transporta información a muy alta velocidad en el orden de los 100Gbit. Está compuesta de un tubo de vidrio, generalmente de óxido de silicio que se dopa con impurezas estrictamente seleccionadas para lograr los perfiles de índices de refracción necesarios, (*ver Anexo I*)(ITU-T, 2003).

En forma general la fibra óptica se clasifica en monomodo y multimodo, (*ver Anexo I*), y sus características aparecen en las recomendaciones de la ITU-T, comprendidas entre las G.650 y la G.657, (*ver Anexo 2*)(Corletti, 2011).

En el caso de Cuba se ha generalizado el uso de cables con fibras ópticas recomendadas en la G.652, (*ver Anexo 2*), las cuales tienen un espectro, ver figura 1.3, cuya característica fundamental es que aparecen tres zonas, conocidas como ventanas de trabajo, con atenuaciones más apropiadas para el uso.

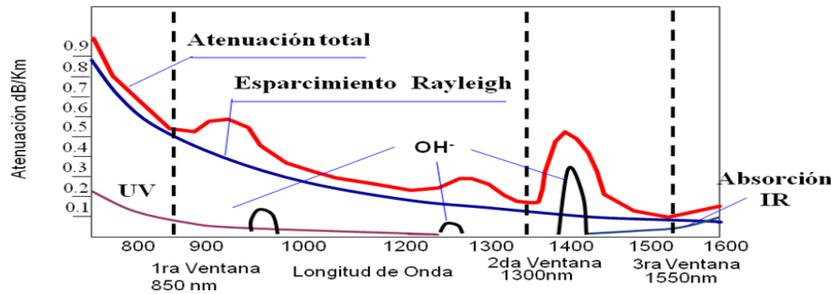


Figura 1.3 Características de atenuación contra frecuencia de la fibra óptica G652(Bocalandro, 2010).

Como vemos estas ventanas están alrededor de las longitudes de ondas de 850,1310 y 1550nm y como se mostró en el gráfico tiene un ancho espectral muy pequeño, por lo que cuando la tecnología permitió eliminar el ion OH del proceso de fabricación aparecieron las recomendaciones G.652C y G.652D con un espectro como el mostrado en la figura 1.4 lo que permite un mejor aprovechamiento del espectro apareciendo nuevas ventanas de trabajo como muestra la figura 1.5.

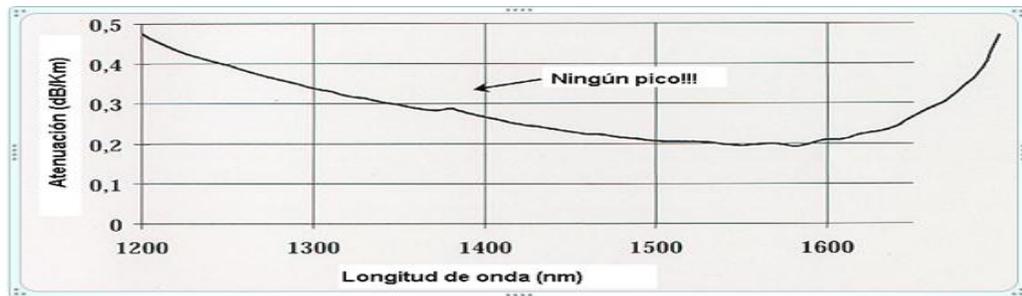


Figura 1.4 Características de atenuación contra frecuencia de la fibra óptica G.652C y G.652D(Bocalandro, 2010).

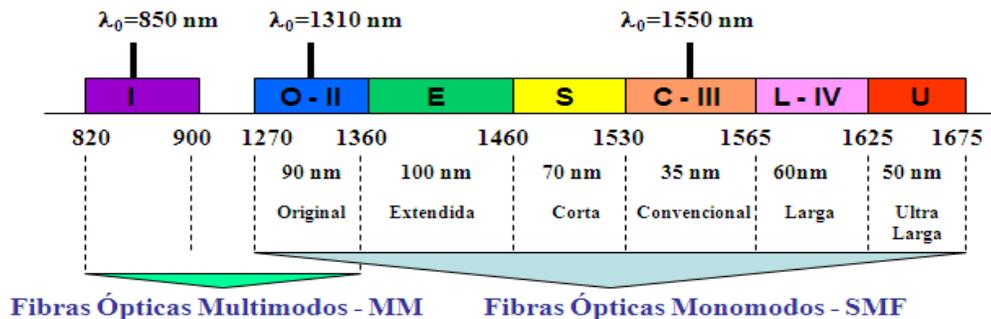


Figura 1.5 Ventanas de trabajo de la fibra G.652C y G.652D(Bocalandro, 2010).

Entre las técnicas más empleadas en la transmisión por fibra óptica se encuentra WDM (Multiplexación por Longitud de Onda, de las siglas en inglés *Wavelength Division Multiplexing*), técnica que permite que diferentes señales compartan un único medio de transmisión de alta capacidad (la fibra), lo cual se logra haciendo que cada señal transmita utilizando diferentes longitudes de onda. Los sistemas WDM actuales pueden manejar hasta 320 señales, permitiendo expandir un sistema de fibra básico de 40 Gbps a una capacidad total teórica de 12.8 Tbps(Dávalos, 2010).

Básicamente existen dos tipos de tecnologías WDM:

- ✚ DWDM (WDM Denso, del inglés *Dense WDM*), si se pretende introducir muchas longitudes de onda en una fibra. Esta tecnología es usada principalmente en entornos de red troncal de larga distancia.
- ✚ CWDM (WDM Aproximada, de las siglas en inglés *Coarse WDM*), cuando se desea multiplexar menos longitudes de onda (hasta 18). Esta tecnología es más barata y es común encontrarla en entornos metropolitanos.

WDM y TDM pueden trabajar en conjunto para optimizar la capacidad de la fibra. TDM genera los flujos de bits de la forma más rápida; dicho flujo, en conjunto con otros flujos multiplexados, entran a un sistema WDM donde son nuevamente multiplexados a longitudes de onda asignadas para ser transportadas sobre una sola fibra óptica. Cada proceso incrementa el total de la capacidad del enlace(Cevallos y M.Montalvo, 2010).

1.4.2 Empalmes y conectores

La fibra óptica como todo cable necesita de elementos de interconexión, que en este caso son los ODF, Conectores, Latiguillos y *Jumper* Óptico, (ver Anexo 3)(ITU-T, 2002).

Debido a que por diferentes razones los cables de fibra óptica se fabrican de longitudes variables que van desde 2 hasta 8Km, para instalaciones terrestres aparece la necesidad de introducir un nuevo elemento en la red, denominado empalme y que cumple tres funciones principales: enlazar dos tramos de cables consecutivos; realizar derivaciones de una red principal a un usuario intermedio; reparar las averías. Según la forma de realizarlo podemos clasificarlo como mecánicos o de fusión, (ver Anexo 4)(ETECSA, 2005).

Por su utilización el empalme de inserción, que se utiliza fundamentalmente en derivaciones donde el número de fibras a utilizar es menos que la capacidad del cable, representa una de las variantes más utilizadas en los procesos de instalación y proyección de redes de fibras ópticas. Se realiza retirando las protecciones externas del cable e interviniendo solamente las protecciones secundarias donde están las fibras a derivar. Tiene la ventaja que las fibras que no están implicadas no son intervenidas y por tanto aunque se encuentran dentro de un empalme, no son empalmadas sino que pasan por directo.

Según el lugar y el método que se utilice para instalar un cable de fibra óptica podemos clasificar las instalaciones como rurales y urbanas o como soterradas enterradas y aéreas, (ver Anexo 5)(ETECSA, 1997, ETECSA, 2000).

1.5 Redes Ópticas Pasivas (PON)

PON es una tecnología punto-multipunto, todas sus transmisiones se realizan entre la OLT, localizada en el nodo óptico u oficina central y el terminal de usuario.

Estas son redes implementadas sobre fibras ópticas, donde todos los componentes de distribución son pasivos, compuestas fundamentalmente por:

- ✚ OLT (Terminal de Línea Óptico, de las siglas en inglés *Optical Line Termination*).
- ✚ ONT (Terminal de Red Óptico, del inglés *Optical Network Termination*).
- ✚ MDU (Unidad Remota Multiusuario, derivado del inglés *Multi Dwelling Unit*).
- ✚ ONU (Unidad de Red Óptica, proveniente del inglés *Optical Network Unit*).
- ✚ *SPLITTER* divisor óptico.

Existen varios tipos de topologías adecuadas para el acceso a red, incluyendo topologías en anillo (no muy habituales), árbol y bus óptico lineal. Cada una de las bifurcaciones se consiguen encadenando divisores ópticos 1 a 2 o bien divisores 1 a N. La figura 1.6 ilustra una topología básica de una red PON(Bisbé y García, 2011).

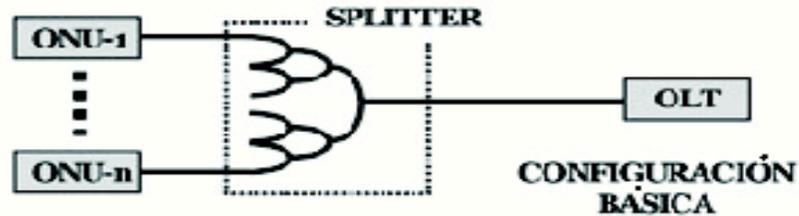


Figura 1.6 Topología básica de una red PON(Berrio, 2013).

Todas las topologías PON utilizan fibra óptica monomodo para el despliegue. En el canal descendente una PON es una red punto – multipunto. El equipo OLT maneja la totalidad del ancho de banda que se reparte a los usuarios mediante multiplexación TDM a las ONUs. En canal ascendente la PON es una red punto-a-punto donde múltiples ONUs transmiten a un único OLT. Finalmente, para optimizar las transmisiones tanto ascendentes como descendentes y evitar que se interfieran se utiliza sobre la fibra monomodo la técnica WDM. La mayoría de las implementaciones trabajan en dos longitudes de onda, una para la transmisión en sentido descendente y otra para la transmisión en sentido ascendente(Cevallos y M.Montalvo, 2010).

1.5.1 APON

APON (Modo de Transferencia Asíncrona sobre PON, de las siglas en inglés *Asynchronous Transfer Mode over PON*), está definida en la revisión del estándar de la UIT-T G.983.1, el cual fue el primero desarrollado para las redes PON; utiliza ATM como protocolo de Capa Enlace. Los sistemas APON usan el protocolo ATM como portador, trabaja en modo asimétrico con una tasa de 622 Mbps en sentido descendente y 155 Mbps en sentido ascendente; en modo simétrico utiliza una tasa de 155 Mbps tanto en sentido ascendente como descendente(Pupo, 2011).

1.5.2 BPON

BPON (Red Óptica Pasiva de Banda Ancha, natural del inglés *Broadband PON*), surgió como una mejora de la tecnología APON para integrar y obtener acceso a más servicios como *Ethernet*, distribución de video y multiplexación por longitud de onda (WDM), entre otras mejoras, logrando un mayor ancho de banda. Está definida en varias revisiones al estándar G.983.1 hasta el G.983.8, define una arquitectura asimétrica de 155 Mbps en sentido ascendente y 622 Mbps en sentido descendente. En modo simétrico la tasa sube a

622 Mbps. Permite el transporte de señales CATV (Señales de Video) y provee seguridad en sentido descendente por medio de AES(Pupo, 2011).

1.5.3 EPON

EPON (Ethernet sobre Red Óptica Pasiva, proveniente del inglés *Ethernet PON*), es un sistema desarrollado por la IEEE (Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas, del inglés *Institute of Electrical and Electronics Engineering*), en la norma 802.3ah, se basa principalmente en el transporte de tráfico *Ethernet* en vez del transporte por medio de celdas ATM; por lo cual la velocidad que dispone cada usuario final depende del número de ONUs, que se conecten a la OLT. Una ventaja de este sistema es que ofrece calidad de servicio en ambos canales (descendente y ascendente). Define una tasa de datos simétrica de 1.244 Gbps, no permite el transporte de señales de CATV y tampoco provee seguridad en *Downstream* (Tráfico Descendente)(Suárez, 2012).

1.5.4 Gigabit PON(GPON)

GPON es una tecnología que permite una convergencia total de todos los servicios de telecomunicaciones sobre una única infraestructura de red basada en *IP*. Es una red de fibra totalmente pasiva, no existen repetidores dentro de la red y tampoco fuentes de poder intermedias, solo *splitters*, acopladores y atenuadores(Bisbé y García, 2011).

1.6 Funcionamiento de GPON

Tanto para el sentido ascendente como para el descendente, la información viaja sobre un mismo hilo de fibra; esto gracias a la técnica de multiplexación WDM, que permite enviar tres longitudes de onda sobre un hilo de fibra, los intervalos de trabajo de estas longitudes de onda son(ITU-T, 2008):

✚ 1480 – 1500 (1490 ± 50) nm para el canal descendente de datos.

✚ 1260 – 1360 (1310 ± 50) nm para el canal ascendente de datos.

✚ 1550 – 1560 nm para *multicast*(difusión múltiple) de video.

Se utiliza *multicast* para la difusión de televisión, permite al usuario seleccionar el canal de televisión que recibe en cada momento; el estándar GPON se ha diseñado para que una

parte de la trama GPON esté dedicada al tráfico *multicast*, de tal manera que sea accesible por todos los usuarios y enviar una sola copia de cada canal independientemente de los usuarios que lo estén solicitando (Suárez, 2012).

1.6.1 Tráfico descendente

En el canal descendente se utiliza la técnica de multiplexación (TDM). En la figura 1.7 se muestra el proceso donde la OLT envía el tráfico de *broadcast* (difusión), hacia todas las ONUs, los *splitters* únicamente replican los datos hasta el suscriptor final, cada ONU filtra los datos recibidos y verifica su dirección en el encabezado de las tramas.

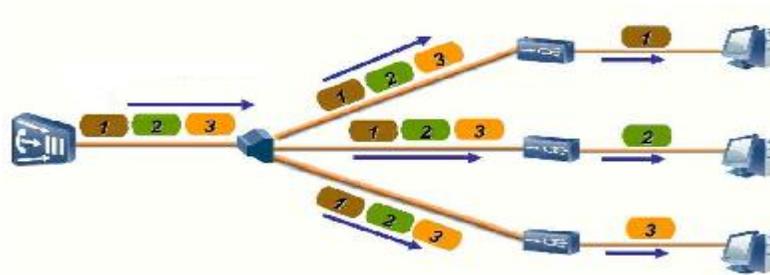


Figura 1.7 Tráfico descendente en GPON (Suárez, 2012).

Debido a que las ONUs reciben todo el tráfico de todos los suscriptores, en el canal descendente es necesario utilizar encriptación, de tal forma que cada ONT sea capaz de procesar el tráfico que le corresponde, o para el que tiene acceso por parte del operador, la encriptación empleada es AES y la generación de claves de cifrado se realiza de forma independiente para cada ONU. La OLT es responsable de la asignación del ancho de banda a las ONUs en el canal descendente, debido a que la red de distribución es compartida, la OLT determina y notifica a las ONUs los *time slots* (ranuras de tiempo) para el envío de datos (Suárez, 2012).

1.6.2 Tráfico ascendente

En el canal *upstream* (ascendente) se utiliza (TDMA), la ONU toma el tráfico del puerto del usuario y lo mapea en tramas GEM, los datos son transmitidos por medio de *time slots* asignados por la OLT como mecanismo de control de acceso para evitar colisiones. Considerando que el *splitter* es un elemento pasivo, se requiere de sincronismo de los paquetes, por lo tanto la OLT debe conocer la distancia a la que se encuentra cada ONU,

mide el retardo con cada ONU y usa un intervalo de tiempo definido para la transmisión en el canal ascendente, ver figura 1.8.

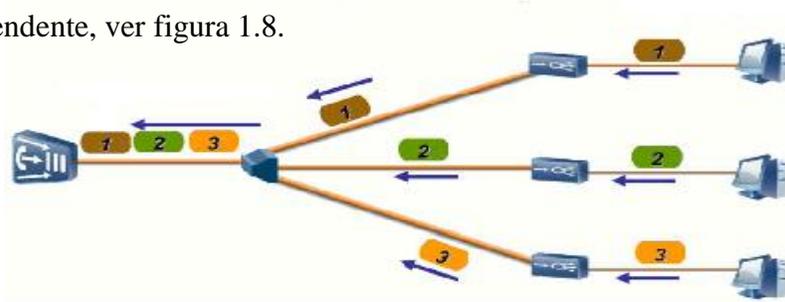


Figura 1.8 Tráfico ascendente en GPON(Suárez, 2012).

El ancho de banda en el canal ascendente es asignado a las ONUs por la OLT y puede ser estática o dinámica, con esta última se mejora la utilización del canal(Suárez, 2012).

1.7 Elementos de la red GPON

Aparecen principalmente para suplir las limitaciones del par trenzado y conseguir prestar de forma masiva servicios que requieren de gran ancho de banda. Los elementos de una red óptica son muy importantes conocerlos por eso a continuación se hace una breve descripción de ellos.

1.7.1 Elementos activos

Son equipos óptico – eléctricos que se encuentran tanto en el lado del operador como del suscriptor; en el lado del operador se encuentra la OLT.

Cuando se tiene una configuración de FTTH (Fibra Hasta la Casa, de las siglas en inglés *Fiber To The Home*), se utilizan ONTs al lado del cliente, mientras que si se tiene una solución FTTB (Fibra Hasta el Edificio, del inglés *Fiber to the Building*), se utilizan ONUs, y para escenarios con FTTN (Fibra Hasta un Nodo, derivado del inglés *Fiber To The Node*), se emplean MDU(Suárez, 2012).

1.7.1.1 OLT

OLT es un elemento activo del cual parten las redes de fibra óptica hacia los usuarios, con una capacidad para dar servicio de consumidores conectados según las prestaciones que se brinden. Una de las funciones más importantes que desempeña es agregar el tráfico proveniente de los clientes y lo encamina hacia la red de agregación. Realiza

funciones de *router* para poder ofrecer todos los servicios demandados por los usuarios. Este elemento de la red GPON está ubicado en las dependencias del operador, y consta de varios puertos de línea GPON cada uno soportando hasta 64 ONT (Goana y Santillán, 2013).

1.7.1.2 ONT

Es el elemento situado en casa del usuario donde termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario. En el caso de las ONTs de exterior, deben estar preparadas para soportar las inclemencias meteorológicas y suelen estar equipadas con baterías. Existe una gran variedad de estos, en función de los servicios que se quieran ofrecer y las interfaces que ofrezcan al usuario: Interfaces *Fast Ethernet*, que pueden alcanzar velocidades de hasta 100 Mbps. Se suelen utilizar en usuarios residenciales para ofrecer servicios de televisión o *Internet*. Interfaces *Gigabit Ethernet*, que pueden alcanzar velocidades de hasta 1 Gbps. Se utilizan para dar servicios a empresas. Interfaces RJ11, que se utilizan para conectar teléfonos analógicos y ofrecer servicios de voz. Interfaces E1 o STM-1, para dar servicios específicos de empresa. Es fundamental para el desarrollo del mercado alcanzar la interoperabilidad OLT-ONT entre diferentes fabricantes (Berrio, 2013).

1.7.1.3 MDU

En las arquitecturas FTTN las ONT son sustituidas por MDUs, las cuales permiten ofrecer servicio a múltiples usuarios. Existen varios modelos de MDU entre los que se destacan (Illescas, 2012):

- ✚ MDU XDSL: Termina la fibra óptica que llega de la central telefónica. Utiliza tecnología XDSL para ofrecer servicios a los usuarios. Van integrados dentro de un armario, que se ubica en una zona común del edificio, con fácil acceso a los pares de cobre que llegan a los terminales. La ventaja fundamental que ofrecen respecto a las ONTs es que permiten aprovechar las tiradas de cobre que existen en los edificios. La desventaja es que tienen todas las limitaciones de las tecnologías XDSL.

- ✚ MDU con interfaces *Fast Ethernet*: Están equipadas con una gran cantidad de interfaces *Ethernet* y permiten dar servicio a un edificio que esté cableado con RJ45 o a una empresa.

1.7.1.4 ONU

Es un término genérico para llamar a un equipo al final de la ODN (Red de distribución óptica, natural del inglés *Optical Distribution Network*), generalmente a una ONU se la conoce como un equipo que brinda servicio a varios abonados. Algunas ONUs implementan una unidad independiente de suscriptor para proveer servicios como telefonía, datos *Ethernet*, o video; estos equipos contienen 12 - 24 puertos POTS (Servicio Telefónico Ordinario Antiguo, del inglés *Plain Old Telephone Service*), múltiples conexiones "*Ethernet*" o "VDSL" y una o dos salidas de video (Goana y Santillán, 2013).

1.7.2 Elementos pasivos

Elementos pasivos se les denominan a aquellos equipos ópticos que no necesitan de fuentes de poder para su desempeño, y se encuentran situados en cualquier parte de la red de distribución óptica.

1.7.2.1 Splitters

Los *splitters* son un tipo de acoplador que se utilizan comúnmente en las redes ópticas pasivas debido a su funcionalidad y desempeño en estos sistemas, constituyen un dispositivo bidireccional que permiten la conexión punto a multipunto y que las señales ópticas de una fibra puedan ser distribuidas a otras varias fibras. Los *splitters* ópticos se implementan cascadeando *splitters* "físicos" con relación 1:2, donde la señal de entrada se distribuye en dos caminos diferentes resultando en una pérdida de potencia aproximadamente de 3,5dB. Cada camino vuelve a separarse en dos, permite mayor distribución pero también adiciona nuevamente una pérdida de potencia (Illescas, 2012).

En la tabla 1.3 se pueden ver las pérdidas típicas introducidas por algunos comercialmente disponibles.

Tabla 1.3. Relación *Splitter* a pérdida (dB) (Illescas, 2012).

Relación de Split	Pérdida de inserción (dB)
1:2	3,6
1:4	7,2
1:8	11
1:16	14
1:32	17,5

1.7.2.2 ODF

ODF (Distribuidor de Fibra Óptica, de las siglas en inglés *Optical Distribution Frame*), elemento pasivo que permite la conexión y terminación de un segmento de fibra óptica mediante el uso de conectores con el fin de mejorar la manipulación, organización, mantenimiento y protección de dicho segmento. En su interior se dispone del espacio físico adecuado para el almacenamiento de reservas de fibra óptica, así como empalmes y *patch cords*. La principal ventaja que brinda a la red, es la posibilidad de lograr la escalabilidad de los elementos a este conectado, en un crecimiento adecuado y en orden (Goana y Santillán, 2013).

1.8 Arquitecturas de redes de acceso

Las soluciones FTTX (Fibra Hasta X, originario del inglés *Fiber To The X*), describen un progreso sucesivo para la migración de redes basadas en cobre, a otras basadas en fibra óptica; esta es una tendencia que responde a requerimientos cada vez mayores respecto al ancho de banda, para brindar nuevos servicios.

Dentro de estas soluciones, se pueden tener esquemas de redes de accesos con un único medio de transmisión, es decir solo de fibra óptica, o una combinación de fibra óptica y par trenzado de cobre o cable coaxial. Dentro de la familia de tecnologías FTTX se agrupan una serie de soluciones de acceso, ver figura 1.9, basadas en el empleo de fibra óptica hasta las proximidades del abonado. A continuación se describen dichas soluciones (Furukawa, 2013, Suárez, 2012).

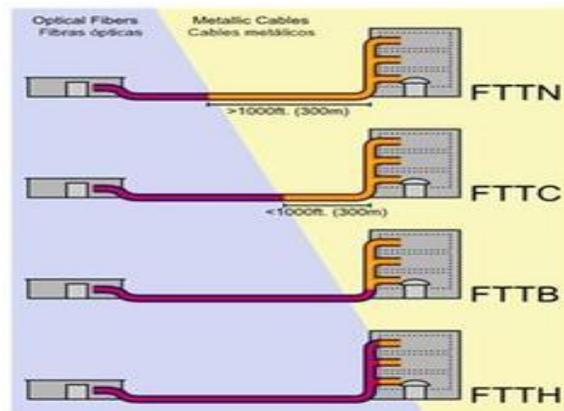


Figura 1.9 Soluciones FTTX (Suárez, 2012).

1.8.1 FTTN

En FTTN o fibra hasta el nodo, la fibra termina en una central del operador de telecomunicaciones que presta el servicio, suele estar más lejos de los abonados que en FTTH y FTTB, típicamente en las inmediaciones del barrio.

La fibra termina en un armario de calle; se encuentra a varios kilómetros de distancia de las instalaciones del cliente y la conexión final de cobre. La FTTN, a menudo es vista como un paso intermedio hacia FTTH completo y es utilizado actualmente por los proveedores de servicios de telecomunicaciones (Goana y Santillán, 2013).

1.8.2 FTTC

FTTC (Fibra Hasta la Esquina, del inglés *Fiber To The Corner*), para esta solución, la fibra óptica comprende desde la Oficina Central hasta un nodo o armario, que generalmente se encuentra de 150 a 200 m del suscriptor y desde ahí se realiza la conversión óptica – eléctrica para llegar con par trenzado de cobre hasta el usuario (Suárez, 2012).

1.8.3 FTTB

Cuando las tecnologías PON incluyen soluciones de tipo FTTB, ofrecen transmisión sobre fibra óptica desde la Oficina Central hasta un *splitter* óptico en las inmediaciones del edificio y a partir de ese punto de acceso, se llega a través de la red de cableado estructurado con par trenzado hasta el suscriptor (Suárez, 2012).

1.8.4 FTTH

Es una arquitectura de red de transmisión óptica, donde la red de bajada entra en la residencia u oficina del abonado y es suministrado por una fibra óptica exclusiva, para este acceso. La tecnología FTTH utiliza para conectar a los usuarios enlaces dedicados o una red óptica pasiva (PON) (Álvarez et al., 2009, Cevallos y M. Montalvo, 2010).

CAPÍTULO 2. EQUIPAMIENTO A UTILIZAR EN UNA RED DE ACCESO DE ALTA VELOCIDAD

En este capítulo se detallan las fundamentales variantes que existen del equipamiento necesario para la implantación de la red de acceso GPON (desde el usuario residencial hasta la central telefónica) para establecer una conexión satisfactoria.

2.1 Ventajas y características de la tecnología seleccionada: GPON

- ✚ Optimiza la utilización de las instalaciones soterradas y enterradas y de las redes de cable.
- ✚ La fibra óptica que utiliza es G.652, una de las más usadas en nuestro país, resultando una tecnología compatible.
- ✚ Ofrece mayor ancho de banda, mayor eficiencia de transporte para servicios *IP*, y una especificación completa adecuada para ofrecer todo tipo de servicios.
- ✚ Los usuarios normalmente se encuentran agrupados en determinadas zonas, haciendo más factibles las técnicas de distribución utilizadas por GPON.
- ✚ Bajas tasas de administración y mantenimiento en la red al usarse equipos de fibra pasivos y no activos.
- ✚ La máxima relación de división óptica es mayor que sus predecesoras, es de 64, en la actualidad pueden llegar hasta 128(Goana y Santillán, 2013).

2.2 Selección de equipamiento

Para la selección de los equipos se tendrá en cuenta los parámetros especificados por los fabricantes, en cuanto a características técnicas como: potencia, sensibilidad, corriente de alimentación, velocidades de transmisión, protocolos con los que trabajan, entre otras y características físicas como: número de puertos que contienen así como las interfaces de cada uno, tamaño del equipo, peso, etc. Los diferentes equipos se han dividido en subapartados en función de la familia tecnológica a la que pertenezcan.

A continuación se resumen características técnicas de diferentes fabricantes de equipos que ofrecen una solución GPON (OLT – ONT) en el mercado internacional. Finalmente se justifica la selección de una de dichas opciones (Cevallos y Montalvo, 2010).

2.2.1 MOTOROLA (OLT-AXS1800)

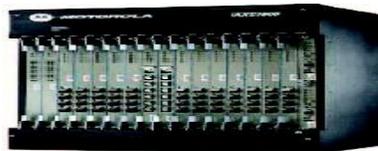


Figura 2.1 Motorola AXS1800 OLT (Cevallos y Montalvo, 2010).

Características (Cevallos y Montalvo, 2010):

- ✚ Tarjeta de 4 puertos PON y 14 tarjetas en el chasis, soporta 1792 suscriptores por chasis con *splitters* 1:32 ó 3584 suscriptores por chasis con *splitters* de 1:64.
- ✚ Soporta más de 112 interfaces T1/E1.
- ✚ Soporta la entrega de video y voz.
- ✚ Alcance máximo de 20 Km.
- ✚ 28 dB , pérdida óptica dado por ITU-T G.984.2
- ✚ Potencia de transmisión óptica: -1.5 dBm a 5 dBm.
- ✚ Sobrecarga de potencia: -8 dBm.

2.2.2 MOTOROLA (ONT-1400GT)



Figura 2.2 Motorola ONT1400GT(Cevallos y Montalvo, 2010).

Características(Cevallos y Montalvo, 2010):

- ✚ Habilitado para entregar servicios IPTV (voz, video, datos), sobre una única fibra GPON.
- ✚ Provee dos líneas para VoIP.
- ✚ 2 Puertos *Ethernet* 10/100/1000 Base-T.
- ✚ Provee velocidades de acceso a *Internet* arriba de los 200 Mbps prolongados y 400 Mbps a ráfagas.
- ✚ Soporta paquetes interactivos basados en video e IPTV sobre *Ethernet*.
- ✚ Trabaja con el cableado existente en casa.
- ✚ Sensibilidad del receptor: -28 dBm.
- ✚ Potencia de transmisión óptica: -1.5 dBm a 5 dBm.
- ✚ Sobrecarga de potencia: -8 dBm.

2.2.3 ALCATEL-LUCENT (OLT-7342).



Figura 2.3 Alcatel-Lucent 7342 OLT(Alcatel-Lucent, 2005).

Características(Alcatel-Lucent, 2005):

- ✚ Capacidad de 2.5 Gbps en *downstream* y 1.2 Gbps en *upstream* sobre una sola fibra.
- ✚ Alcance de 30 km a 28 dB.
- ✚ Potencia de Tx óptica -1.5 dBm a 5 dBm.
- ✚ Soporte de hasta 2,048 ONTs por OLT.
- ✚ Capacidad de conmutación de fábrica máxima de 100 Gbps con alta disponibilidad.
- ✚ Modos de compartición redundante y de carga.
- ✚ AES (Advanced Encryption Standard).
- ✚ Modo de encapsulación GPON (GEM), para una más eficiente transferencia de servicio de tráfico *IP/Ethernet*.
- ✚ Hasta 64 suscriptores por PON (una sola fibra), 4 PONs por tarjeta.

2.2.4 ALCATEL-LUCENT INDOOR (ONT I-040)



Figura 2.4 Alcatel-Lucent 7342 Indoor ONT I-040(Cevallos y M.Montalvo, 2010).

Características(Alcatel-Lucent, 2005):

- ✚ Demultiplexa la señal de GPON hacia las interfaces del suscriptor.
- ✚ Compacta, unidad para uso interior (*indoor*).

- ✚ Puede ser montada en paredes interiores o colocada libremente en escritorios.
- ✚ Provee puerto, *Ethernet* y CATV video.
- ✚ Energía local con respaldo de batería.
- ✚ Presenta *Forward Error Correction* (corrección de errores) y asignación dinámica de ancho de banda.
- ✚ Pérdidas máximas: 28 dB por cada 20 Km.

2.2.5 HUAWEI (OLT-MA5600T)

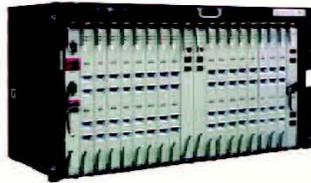


Figura 2.5 Huawei OLT MA5600T(Huawei, 2009).

Características(Huawei, 2009):

- ✚ Máximo 4 puertos GPON de 64 usuarios, soportando 4096 ONT.
- ✚ Puertos *Upstream* E1, 10GE óptico.
- ✚ IEEE 802.3u *Fast Ethernet*.
- ✚ IEEE 802.1d MAC.
- ✚ Velocidades *downstream* y *upstream* arriba de los 2.4 Gbps y 1.2 Gbps respectivamente.
- ✚ Sensibilidad de recepción: -28 dBm con una potencia de sobrecarga de -8 dBm.
- ✚ Potencia óptica de transmisión: 1.5 dBm a 5 dBm.

2.2.6 HUAWEI (ONT HG865)



Figura 2.6 Huawei ONT HG865(Huawei, 2009).

Características(Cevallos y M.Montalvo, 2010):

❖ Tasas de Transferencia:

- ✚ Tasa de transferencia de bajada máxima de 2.488 Gbps.
- ✚ Tasa de transferencia de subida máxima de 1.244 Gbps.

❖ Interfaces Externos:

- ✚ LAN: 3 interfaces *Ethernet* 10/100 Base-T (RJ-45).
- ✚ 1GE: 1000 Base-T (RJ-45).
- ✚ Dos interfaces de VoIP (RJ-11).
- ✚ RF: Salida de video.

❖ Especificaciones adicionales:

- ✚ Sensibilidad del receptor: -28 dBm.
- ✚ Potencia de transmisión óptica: -1.5 dBm a 5 dBm.
- ✚ Sobrecarga de potencia: -8 dBm.

2.3 Tablas comparativas y selección final de equipos

Tabla 2.1 Comparación entre equipos OLTs(Cevallos y M.Montalvo, 2010).

<u>Características mínimas requeridas</u>	<u>Motorola</u>	<u>Alcatel-Lucent</u>	<u>Huawei</u>
1 Puerto GPON	*	*	*
2 puertos Gigabit <i>Ethernet</i>	*	*	*
Administrable remotamente y localmente	*	*	*
Capacidad de Proveer Servicios de CATV en la ventana de 1550nm	*	*	*
Velocidades de transmisión en <i>Downstream</i> de 2.4 Gbps y en <i>Upstream</i> de 1.2Gbps	*	*	*
Interfaces ópticas deben trabajar con fibra óptica monomodo G.652D	*	*	*
<i>Hot Swap</i>			*
110Vac-60Hz/ 48VDC	*	*	*
802.3z		*	*
802.1p		*	*
802.1d/1wSTP/RSTP	*		*
Garantía mínimo tres años			*
Reparación mantenimiento o sustitución del equipo en caso de fallas o daño:48 horas	*		*
Porcentaje de cumplimiento	79.16%	79.16%	95.83%
Equipo seleccionado			*****

Tabla 2.2 Comparación de equipos ONTs(Cevallos y M.Montalvo, 2010).

<u>Características mínimas requeridas</u>	<u>Motorola</u>	<u>Alcatel-Lucent</u>	<u>Huawei</u>
1 puerto 10/100 Base-T(RJ-45)	*	*	*
1 salida RF(Coaxial)	*	*	*
1 puerto RJ-11 ó 1 puerto E1	*	*	*
Capacidad de transmisión en las ventanas de 1490 nm, 1319 nm y 1550 nm	*	*	*
Velocidades de transmisión en <i>Downstream</i> de 2.4 Gbps y en <i>Upstream</i> de 1.2Gbps	*	*	*
Interfaces ópticas deben trabajar con fibra óptica monomodo G.652D	*	*	*
110Vac-60Hz. Con energía DC local	*	*	*
802.1p		*	
802.1q	*		*
Administración local y remota con el protocolo SNMP	*	*	*
Garantía mínimo 1 años	*		*
Porcentaje de cumplimiento	75%	80%	90%
Equipo seleccionado			*****

2.3.1 Justificación

Se han escogido los equipos Huawei OLT MA5600T y Huawei HG863 Bridge Series ONT, debido a que son los que mayoritariamente cumplen con las características mínimas requeridas, además por las buenas relaciones comerciales que presenta nuestro país con esta firma. Adicionalmente, la empresa Huawei ofrece (Cevallos y M.Montalvo, 2010):

- ✚ Asistencia técnica completa.
- ✚ Responsabilidad de los trámites de importación y nacionalización de los equipos.
- ✚ Sustitución temporal de partes en caso de fallas.
- ✚ Sistema completo de administración centralizado de la red GPON.
- ✚ *Stack* de servidores.
- ✚ Responsabilidad de las licencias de GPON tanto para OLT como ONTs.

2.4 Equipamiento complementario

A continuación se muestra una variedad de equipos que pueden llegar a ser necesarios para una extensión determinada, en condiciones no favorables para los antes descritos corroborando a un correcto desempeño de la red, que pueden ser utilizados o no, según la topología a implementar, de los cuales se brindan sus principales características.

2.4.1 Terminal de mantenimiento

La serie MA5600-T ofrece en el OLT una salida de *Ethernet* dedicada al mantenimiento y operación. Aquí se conecta una PC con *software* instalado del cual existen varias versiones y actualizaciones, que se dedican a (Huawei, 2009):

- ✚ Control y gestión de fallas.
- ✚ Configuración de la red (tipos de servicios y de red).
- ✚ Configuración de parámetros.
- ✚ Gestión e historiales.

Con estas prestaciones se facilitan el proceso de operación y mantenimiento concentrando la información en el lugar más apropiado.

2.4.2 HUAWEI (ONU HG8247)



Figura 2.7 Huawei ONU HG8247(Huawei, 2009).

El ONU HG8247, lanzada por Huawei, es un equipo o unidad de una red óptica, independiente del suscriptor, la cual cuenta con las siguientes características(Goana y Santillán, 2013):

- ✚ Dimensión (largo, ancho y alto): 268mm, 213mm y 34mm.
- ✚ Puertos: 2POTS, 4GE, 1USB, 1CATV, 1WI-FI.
- ✚ Potencia de Consumo: 11W.
- ✚ Temperatura de Operación: 0°C/+40°C.
- ✚ Humedad Relativa que Soporta: 5%–95%.
- ✚ Corriente de Alimentación: 100–240 V AC, 50–60Hz.
- ✚ Peso: 800 gramos.

2.4.3 HUAWEI (MDU MA5626)



Figura 2.8 Huawei MDU MA5626(Huawei, 2009).

El SmartAX MA5626 *Power over Ethernet* (el "MA5626 PoE") es una unidad remota multiusuario (MDU) líder en la industria, lanzada por Huawei, que se utiliza en una red óptica pasiva (PON) y proporciona cobertura de fidelidad inalámbrica (Wi-Fi) en puntos de acceso de fibra hasta el edificio (FTTB) y fuentes de alimentación para puntos de acceso (AP) o cámaras de video de seguridad utilizados para la construcción segura de la ciudad. El MA5626 PoE es un dispositivo tipo caja que mide 1 U de altura y 19 pulgadas de ancho, cuenta con dos puertos de red GPON o GE y cuatro puertos LAN de usuario GE y cuatro FE (ocho en total), y fuentes de alimentación para los terminales mediante el uso de cables categoría 5. El MA5626 PoE es de fácil instalación y mantenimiento, tiene salida de alta potencia, gran ancho de banda, integración, silenciado y gran estabilidad (Illescas, 2012).

2.4.4 AURORA NETWORK (*Splitter OP3xSx*)

Splitter, dispositivo bidireccional que divide el haz entrante y se distribuye hacia múltiples fibras, o los combina en la dirección opuesta dentro de una misma fibra.

Aurora Networks es una compañía líder en producción de sistemas de transporte ópticos desde el año 1999. Su gama de *splitters* es completa y se adecua y adapta perfectamente a los requisitos del proyecto. Sus equipamientos son de gran calidad (ofrece bajas pérdidas) y su costo es moderado. La familia OP3xSx de *splitters* y combinadores se ha diseñado con una elevada uniformidad y bajas pérdidas de inserción, (ver Anexo 9) (Labeaga, 2007).

2.4.5 HUAWEI (GPON EXTENDER WO. H04B)

HUAWEI GPON *EXTENDER*, mostrado en la figura 2.9, es un repetidor optoelectrónico, que se puede ubicar en un punto de la red PON, permitiendo ampliar el rango de trabajo de la tecnología GPON hasta 60Km. La tarjeta regenera señales ópticas GPON de 1490 y 1310nm e integra un amplificador óptico de alta eficiencia (20dB de ganancia) y de bajo factor de ruido (NF<5dB). Esto permite amplificar una señal en el canal de descendente de 1550nm (CATV/digital), es compatible con los chasis MetroSA, TriSAE y capaz de trabajar en todas las posibilidades definidas en el estándar ITU-T G.984.2. En la tabla 2.4, se muestran algunas características de potencia y sensibilidad (Telnet, 2014).



Figura 2.9 Repetidor Optoeléctrico, GPON *EXTENDER* (WO. H04B)(Telnet, 2014).

Tabla 2.4 Características fundamentales de potencia(Telnet, 2014).

Parámetros	Valores
Sensibilidad de recepción (descendente)	-28/-8dbm
Sensibilidad de recepción (ascendente)	-26/-10dbm
Potencia de transmisión (descendente)	2.0dbm
Potencia de transmisión (ascendente)	1dbm

2.4.6 *Switch* integrador



Figura 2.10 *Switch* Huawei10GE S9300 Series(Labeaga, 2007).

El equipamiento con tecnología *Metro Ethernet* es el encargado de unir punto a punto las diferentes centrales secundarias de la provincia con la central principal o primaria. Este equipamiento consta básicamente de un *switch* denominado “integrador” compatible en cada lado. Dentro de los *switches* más adecuados se encuentra HUAWEI 10GE S9300

Series, figura 2.10. Entre sus principales características se destaca (Abad, 2013, Labeaga, 2007):

- ✚ Soporta los protocolos de enrutamiento de IPv4, como RIP, OSPF, BGP, y IS-IS.
- ✚ Corriente de alimentación DC: 38.4V a 72V-AC: 90V a 290V.
- ✚ Dimensiones del chasis (ancho x profundidad x altura) (Pietrosemoli et al.): 442 × 476 × 175.
- ✚ Soporta control de tráfico de multidifusión.

Para una mayor comprensión de sus características, (ver Anexo 8).

2.4.7 Routers MPLS

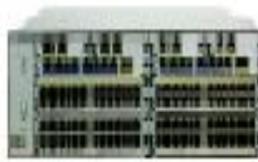


Figura 2.11 Router Huawei AR3200 (Suárez, 2012).

Un *Router* (enrutador) es un dispositivo de red especializado, que conecta a dos o más redes permitiendo el tráfico de datos de unas a otras. Entre estos, se encuentran los *Routers MPLS* (Multiplexación a Base de Etiqueta, de las siglas en inglés *Multi Protocol Label Switching*), equipos que van a trabajar en la frontera del proveedor de servicios, por lo que deben ser altamente confiables, que soporten gran carga de procesamiento. A continuación se muestran sus principales características (Suárez, 2012):

- ✚ Protocolos de enrutamiento IPv6 que soporta: OSPFv3.
- ✚ Soporta control de tráfico de multidifusión.
- ✚ Temperatura de operación: 0°C/+40°C.
- ✚ Corriente de alimentación: 100 V a 240 V AC, 50/60 Hz.
- ✚ Puertos: 24/ 10GE.

2.4.8 DSLAM



Figura 2.12 DSLAM Alcatel 7300 Series(Labeaga, 2007).

DSLAM (Multiplexor de Acceso a la Línea de Abonado Digital, natural del inglés *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*), el cual se podría definir como un chasis que agrupa un gran número de tarjetas, cada una de las cuales consta de varios módems que concentran el tráfico de todos los enlaces hacia nuestra pequeña red de concentración. Se trata de un multiplexor que se instala en la central telefónica y proporciona a los usuarios servicios de acceso VDSL, ADSL, etc. sobre el par cruzado de cobre convencional(Corletti, 2011).

La empresa Alcatel es líder en este tipo de equipos, del cual se especifican las siguientes características(Corletti, 2011, Labeaga, 2007):

- ✚ Soportar hasta 3.456 suscriptores.
- ✚ Se comercializa en *slots* de 48 puertos (entradas) de VDSL2.
- ✚ Dispone de salida con interfaz *Ethernet* para la conexión con los *switches Metro Ethernet*.
- ✚ Se utiliza como distribuidor de última milla en la frontera de la red PON para aprovechar su versatilidad en cuanto a variantes de redes de acceso de cobre que permite utilizar.

CAPÍTULO 3. PASOS FUNDAMENTALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ACCESO

En este capítulo se introducirá una propuesta de pasos generales que permita dar solución a los procesos de proyecto de una red de acceso. Para lograr un mejor entendimiento de cada uno, se proponen soluciones a los principales problemas de la red de acceso de la ciudad de Santa Clara, así como la extensión a toda la provincia. La planificación y dimensión se establecerán de acuerdo con la proyección de usuarios potenciales presentada en la provincia de Villa Clara.

3.1 Guía general a implementar

Para la conformación y diseño de una red de acceso de alta velocidad es necesario conocer y definir parámetros que permitan hacer un estudio previo y un análisis profundo. La guía que a continuación se muestra facilitará lo antes expuesto.

3.1.1 Analizar las redes existentes en el área seleccionada

Detallar la existencia de redes soterradas, enterradas, aéreas y otras posibles variantes con su ubicación geográfica, así como analizar las tecnologías y soluciones existentes, para su posible actualización y utilización.

3.1.2 Clasificación de usuarios en el área seleccionada

Categorización a los usuarios según:

-  El tipo de redes que demandan, privadas o públicas.
-  Velocidad de transmisión, usuarios de alta velocidad y de baja velocidad.

Los usuarios de baja velocidad son aquellos cuyas demandas están acordes a las posibilidades tecnológicas de las redes actuales, lo que lo restringe a una velocidad máxima de 2 Mbps. Los de alta velocidad serían todos aquellos que se encuentren por encima de este umbral.

✚ Redes residenciales o estatales.

3.1.3 Relacionar los estudios geográficos de redes y usuarios

A partir los resultados del epígrafe 3.1.1 y 3.2.2 se hará un despliegue geográfico de las redes existentes y la ubicación de los usuarios denotando áreas de densidad con marcadores de 100, 50, 10 y 5 u/km² según amerite la zona seleccionada.

3.1.4 Estudio de tecnologías de redes de acceso existentes en la actualidad

Estudiar las redes de acceso de alta velocidad existentes en el mundo tecnológico en cuanto a sus características fundamentalmente como: velocidades que soportan, protocolos que se pueden implementar, atenuaciones, métodos de enrutamiento en la planta exterior y los utilizados en la última milla, así como tener en cuenta las opciones que nos brindan los fabricantes en cuanto a: compatibilidad con las tecnologías existentes, relaciones comerciales de estos con nuestro país y un análisis de los costos y opciones de pago.

3.1.5 Realizar el proceso de proyecto e implementación de la red

Para la implementación de la red es importante la selección del punto de distribución más adecuado teniendo en cuenta la geografía del área, la densidad de usuarios, la optimización de la última milla, instalaciones necesarias y condiciones medioambientales. Otro aspecto fundamental sería la selección de los tipos de instalaciones de acceso directo al usuario tratando de minimizar al máximo las inversiones a realizar. Estos pueden ser soterrados, aéreos y enterrados, determinado según el lugar, así como la utilización de zanja, minizanja y microzanja, teniendo en cuenta la tecnología y topológicos más apropiados para cada caso.

3.2 Implementación práctica de los pasos generales en la ciudad de Santa Clara

A continuación se profundizará únicamente en las redes soterradas y enterradas, ya que son las que dan una visión más amplia de los procesos a seguir. Otras redes como las aéreas

están más generalizadas dentro de la ciudad y no son objetivo de estudio de este trabajo debido a que fundamentalmente estarían relacionadas con la última milla que es común a cualquier sistema a utilizar y no sentaría pauta en una posible comparación entre ellas. La ciudad de Santa Clara cuenta con seis ramas fundamentales de redes soterradas que soportan las instalaciones de acceso de cobre para la telefonía y dato, además de algunas variantes de redes de transporte. Por otra parte hay un anillo de fibra óptica enterrado, ver figura 3.1. Todas estas redes constan de conductos utilizables para una posible instalación de cable. Las redes de acceso existentes, excepto casos muy puntuales como las privadas gubernamentales, se soportan por pares de cobre usando Frame Relay a 2Mbps, Además se tiene nodos sobre IP/MPLS soportados por fibra óptica a velocidades de 1Gbps en algunos centros de ETECSA (Empresa de Telecomunicaciones de Cuba) y usuarios que operan con ATM a 2Mbps. La tecnología x.25 ya no soporta ningún usuario aunque los nodos se siguen utilizando en otras funciones. De lo anterior se deriva que las máximas potencialidades en velocidad en la actualidad son de 2Mbps lo que no supe la necesidad de muchos usuarios reales y potenciales. Aunque se buscan soluciones como el caso de la UCLV(Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas), donde se superponen siete redes de 2Mbps para lograr 14Mbps, estas no son óptimas tecnológicamente ni brindan todas las potencialidades de las redes actuales. En la provincia de Villa Clara hay en nuestros días un total de usuarios cercanos a los 2000, de los cuales 1200 están concentrados en la ciudad de Santa Clara. Un 98% son del sector estatal y dentro de los mismos un 72% necesitan emigrar a velocidades superiores, por tal razón nos centraremos primero en esta ciudad. En la figura 3.1 se hace una macrolocalización de subárea de densidad en la localidad de Santa Clara teniendo en cuenta el censo actual de usuarios, donde podemos apreciar la coincidencia de los recorridos de las instalaciones actuales con las zonas de más alta densidad, lo que permite acortar mucho la última milla escogiendo la tecnología adecuada. Existen varias zonas concentradas de alta densidad de usuarios como por ejemplo la Zona Centro con más de 100 u/Km² (azul), Zona Hospitalaria, Virginia y UCLV con más de 30u/km²(Rojo), Zona Sandino con más de 10 u/Km²(Carmelita) y Zona Industrial , Camacho Libertad y Museo "Abel Santa María" con más de 5/Km²(Verde). Las restantes áreas tienen densidades inferiores(ETECSA, 1997, ETECSA, 2000, ETECSA, 2005).

De todas las tecnologías existentes para redes de acceso en la actualidad, una de las que mejor responde a las necesidades de velocidad, se adapta a las topologías y suple las demandas actuales, es la tecnología GPON, por la mínima utilización de las instalaciones, cables y la posibilidad de distribuidores pasivos que resolverían de una forma muy económica el problema de la última milla, con la topología real de zona de alta densidad de usuarios que se aprecia en la figura 3.1. En el Capítulo 2 se hace un estudio detallado de esta tecnología, sus principales fabricantes y el proceso de selección del equipamiento.

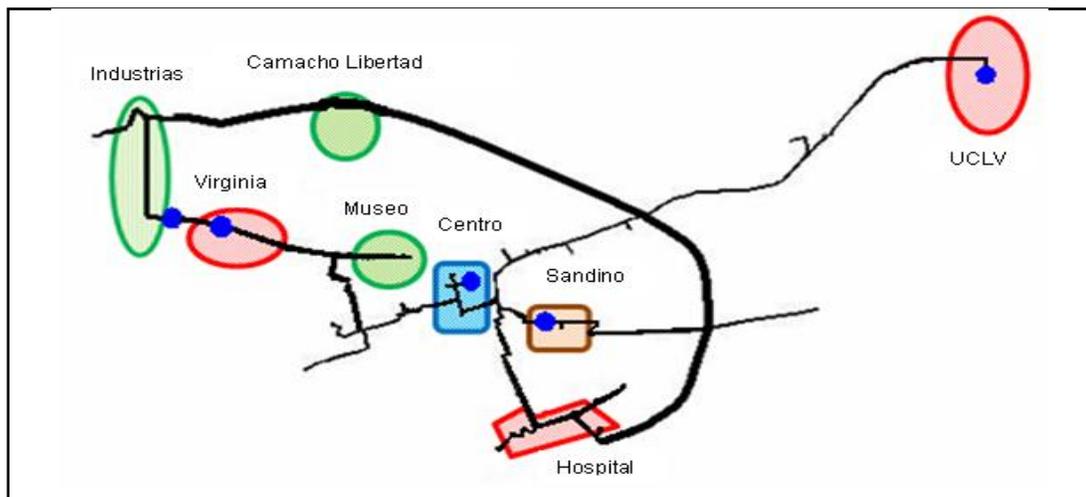


Figura 3.1. Redes y áreas de densidad de usuarios en la ciudad de Santa Clara.

Una vez realizados estudios anteriores y determinado GPON como la tecnología a implementar, se procede a analizar algunos ejemplos específicos de cada una de las variantes de instalación con sus cálculos de potencias y atenuaciones que servirán como base para realizar el proyecto detallado de toda la red .

Como forma de abarcar toda la ciudad es necesario instalar un cable de fibra óptica en cada una de las ramas del soterrado existente y en dependencia de la ubicación de los usuarios colocar *splitter* en los registros apropiados para minimizar la última milla. La razón de división de estos será de acuerdo al número de usuarios a atender en la posición que se ubique. Es recomendable desde el punto de vista de la operación un solo *splitter* por registro. Este estudio arroja la necesidad de instalar aproximadamente 20km de cable de fibra óptica en la ciudad para suplir las demandas actuales. La densidad de este cable podría variar desde veinticuatro fibras ópticas (suficientes para suplir las demandas actuales) hasta

cables de mayor densidad con la cantidad de fibras ópticas necesarias para abarcar todos los usuarios a tener en cuenta en un futuro según las políticas y proyectos que se realicen con este fin. Con los datos actuales, sería suficiente utilizar cables de setenta y dos fibras ópticas. Para la última milla el cable variaría según los usuarios a atender y las topologías que se utilicen para el proyecto, sería favorable utilizar al menos cables de seis fibras ópticas por usuario independientes teniendo en cuenta algunas consideraciones de los departamentos de operación de la red de ETECSA (ETECSA, 1997, ETECSA, 2000).

3.2.1 Zona Uclv

En este ejemplo la instalación del soterrado termina en el centro de ETECSA ubicado en el límite territorial de la UCLV. En la zona tenemos una densidad de 30 u/km² de los cuales tomaremos los cinco más cercanos a dicho centro como referencia para el ejemplo, los demás podrían ser atendidos desde registros del soterrado que se encuentren más cerca, con el objetivo de acortar al máximo la última milla. Los usuarios serían: TRD (Tiendas de Recaudación de Divisas) del Reparto Universitario, Centro Nacional de Capacitación de ETECSA (ya tiene red de dato pero que no forman parte de una red de acceso planificada y utilizan dos fibras ópticas de un cable de transporte), Terminales de Gestión del Centro de ETECSA, UCLV y Planta de Incubación perteneciente a la empresa del CAN (Combinado Avícola Nacional) ubicado en la Carretera de la Universidad final, ver figura 3.2. Todos los usuarios serán atendidos con una topología FTTH.



Figura 3.2 Representación geográfica de los usuarios en la zona Universitaria (Earth, 2014).

Como en el Centro de ETECSA termina una instalación soterrada, hasta él llegará uno de los cables de fibra óptica propuestos de los cuales podemos usar una fibra óptica de forma demostrativa para el ejemplo. Además es conveniente seleccionar este Centro como punto de distribución, ya que en él termina además la red de acceso de cobre existente, la cual atiende entre otras, a un área residencial cercana de pequeñas dimensiones que no cuenta con red soterrada, tiene respaldo energético y se puede aprovechar las bondades del clima que elimina los problemas relacionados con la agresividad del medio, presentes cuando se utiliza un registro u otro tipo de instalación exterior con ese fin. Desde aquí se instalará un cable aéreo hacia la UCLV y CAN de doce fibras ópticas y otro de seis para la TRD(ETECSA, 1997).

Es necesaria la utilización de un *splitter* con relación de división 1:8 que atienda los cinco usuarios FTTH(ver Capítulo 1, epígrafe 1.8.4) mencionados y uno adicional FTTB (ver Capítulo 1, epígrafe 1.8.3) que atendería un terminal DSLAM para prever la implementación de la RED CUBA en el área residencial mencionada. Es necesario utilizar módulos VDSL para asumir las demandas de altas velocidades de los usuarios potenciales. El diagrama topológico de esta zona es el que se muestra en la figura 3.3, y la distribución de cables es la siguiente:

- ✚ Cable desde el Centro de ETECSA hasta el CAN, compuesto por doce fibras ópticas, seis con destino a la puerta de la UCLV y seis que continuarán hasta dicha granja. Para evitar empalmes, en el ODF de la UCLV, se realizará una ventana en el cable, (ver Capítulo 1, epígrafe 1.4.2), tomando las seis primeras fibras ópticas para la UCLV y dejando pasar las demás hacia el CAN.
- ✚ Cable desde el Centro de ETECSA hasta el punto de venta de TRD “El Universitario” compuesto por seis fibras ópticas, punto a punto.
- ✚ Desde el Centro de ETECSA hasta el CNC(Centro Nacional de Capacitación), la conexión se realizará con *Jumper* Óptico(latiguillo), por existir instalaciones apropiadas para su uso como *run way*(canaletas voladizas), canaletas, etc. Además como la distancia es de 30m, existen en el mercado *Jumper* de esta longitud y se evitaría la utilización de dos ODFs y las atenuaciones lógicas de sus conectores.

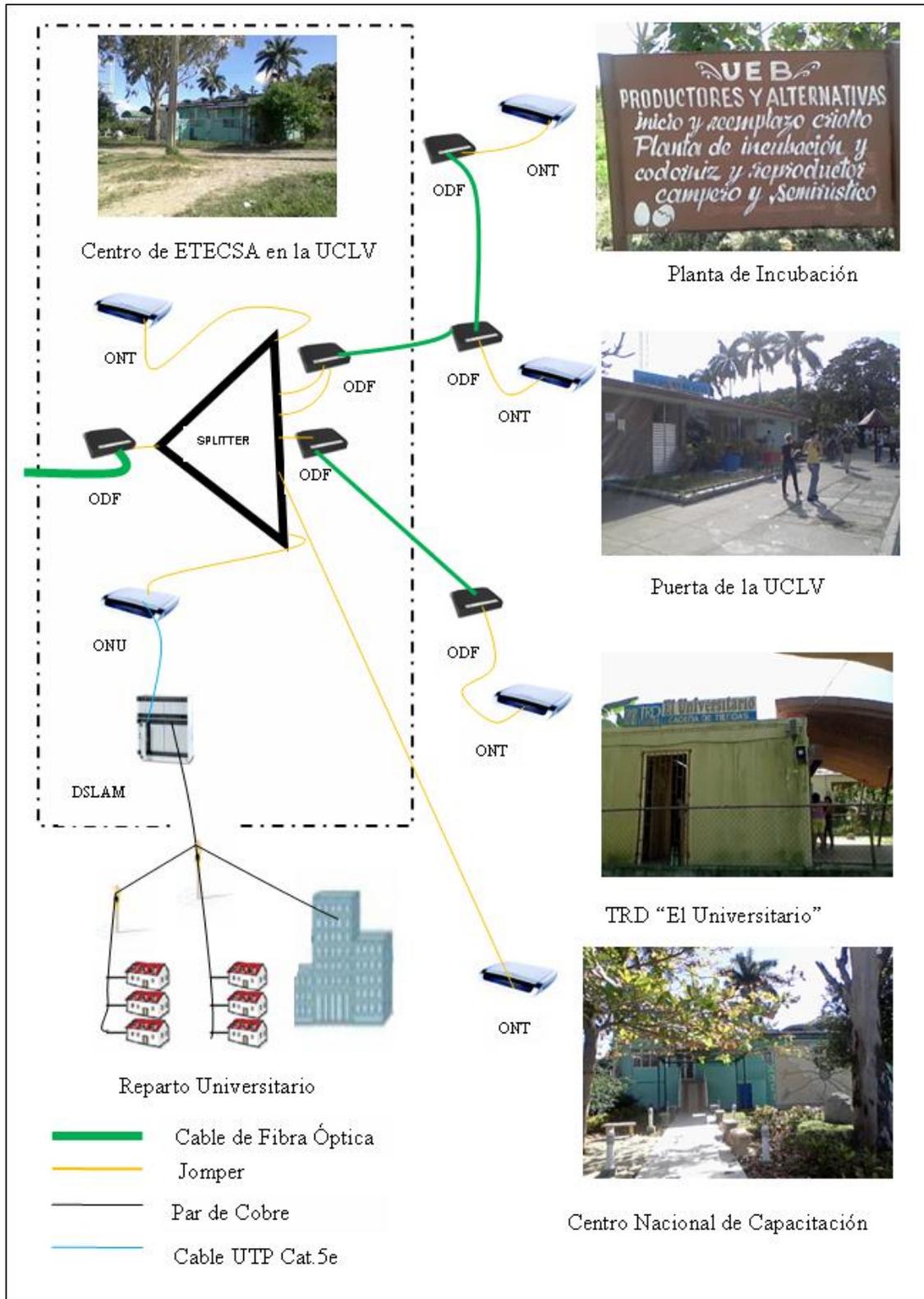


Figura 3.3 Topológico de la red del entorno del Centro de ETECSA en UCLV.

Tabla 3.1 Parámetros a tener en cuenta para el cálculo de atenuación entre la OLT y el ONT más lejano(ETECSA, 2005, ITU-T, 2008).

Parámetros	Valores
Atenuación de la fibra óptica	0,40 dB/Km. - 1310 nm. 0,25 dB/Km. - 1550 nm.
Atenuación por fusión:	0.15 dB
Atenuación por conector de fibra óptica	0.50 dB
Atenuación por <i>Splitter</i> 1x8 incluido sus conectores	10.6 dB
Atenuación por <i>Splitter</i> 1x16 incluido sus conectores	14.2dB
Atenuación por <i>Splitter</i> 1x64 incluido sus conectores	17.5 dB
Atenuación por <i>Patchcord</i>	0.3 dB
Margen de Seguridad	3 dB

Los valores que aparecen en la tabla son recomendaciones internacionales o normas Cubanas que enuncian los valores máximos permisibles, que serán utilizados en la fórmula de los cálculos que a continuación se muestran, para obtener el peor caso. Aún cuando el fabricante ofrece los rangos de distancia de su equipamiento, que además están recomendados por la *ITU-T*, se realizarán algunos cálculos donde bastaría analizar la

ventana O en 1310 nm ya que siempre tendrá mayor atenuación que la C en 1550 nm, pero se incluirán de todas formas a manera de demostración.

A continuación se calcula la atenuación máxima introducida por el enlace de fibra óptica desde el OLT ubicado en el Centro Telefónico de Santa Clara hasta el CAN (Ecuación 3.1), todos los valores a utilizar en los cálculos son extraídos de la tabla 3.1.

$$A_{(m\acute{a}x)} = N_c * A_c + N_e * A_e + L_{opt} * A_{\left(\frac{dB}{Km}\right)} + Margen\ de\ seguridad \quad Ecuaci\ 3.1$$

$$A_{(m\acute{a}x)}(1310nm) = 2 * 0,50dB + 3 * 0,15dB + 14,1Km * 0,4 \left(\frac{dB}{Km}\right) + 3dB = 10,09dB$$

$$A_{(m\acute{a}x)}(1550nm) = 2 * 0,50dB + 3 * 0,15dB + 14,1Km * 0,25 \left(\frac{dB}{Km}\right) + 3dB = 7,97dB$$

Los dos conectores son los del Centro Telefónico en Santa Clara y el ubicado en el CAN debido a que los otros están incluidos en los valores de los *splitter*. Se consideran tres empalmes porque las bobinas de cable que se compran en Cuba son de 4Km y se necesitan más de tres. El margen de seguridad utilizado contemplará valores por envejecimiento de la fibra óptica y equipos así como posibles empalmes a insertar por la operación. En la (Ecuación 3.2) se calculan los niveles de potencia en el equipamiento correspondiente. Para ello se tendrá en cuenta dentro de los rangos que dan los fabricantes, los peores valores.

$$Pot_{(ONT)} = Pot_{(OLT)} - A_{(splitter)} - A_{(m\acute{a}x)} \quad Ecuaci\ 3.2$$

Dónde:

$Pot_{(ONT)}$: Potencia a la entrada del ONT.

$Pot_{(OLT)}$: Potencia a la salida del OLT.

$A_{(splitter)}$: Atenuación introducida por el *splitter* y sus conectores.

$A_{(m\acute{a}x)}$: Ver ecuación 3.1.

$$Pot_{(ONT)}(1310nm) = 1,5dBm - 10,6dB - 10,09dB$$

$$Pot_{(ONT)}(1310nm) = -19,19dBm$$

$$Pot_{(ONT)}(1550nm) = 1,5dBm - 10,6dB - 7,97dB$$

$$Pot_{(ONT)}(1550nm) = -17,07dBm$$

Como se puede apreciar estos valores son mucho menores que la sensibilidad de los ONT (-28dBm) lo que dejaría un presupuesto de potencia de más de 11 dBm comparándolo con los resultados obtenidos para la ventana de 1550nm. Como este es el peor de los casos por la lejanía no es necesario realizar los demás.

3.2.1.1 Terminales DSLAM

Para la implementación de la Red CUBA cuyas políticas aún no están trazadas, serían convenientes terminales de datos de baja y alta velocidad. Para esto GPON prevé terminales DSLAM para bajas velocidades y con módulos VDSL para velocidades mayores a pequeñas distancias, ambas sobre pares de cobre. Para el Reparto Universitario, que como se aprecia en la figura 3.2 tiene a todos sus usuarios concentrados en un área pequeña y cercana al centro de ETECSA, son muy agradables las dos soluciones. Los usuarios se caracterizan por una alta densidad de intelectuales, profesionales y cuadros cuya gama de necesidades sobrepasa la media de otros asentamientos, de ahí la necesidad de variantes de velocidades. Un terminal DSLAM (*ver Capítulo 2, epígrafe 2.4.8*), puede atender un margen de 300 usuarios aproximadamente lo cual es suficiente para el área, de ser necesario por alguna razón de escalabilidad, se instalaría otro terminal ONU con el DSLAM correspondiente.

Como se explica al principio del ejemplo es muy conveniente ubicar este equipamiento en el Centro de ETECSA para evitar nuevas inversiones y facilitar la operación. Si comparamos las distancias de cobertura de estas tecnologías con las distancias máximas de las instalaciones de cobre del Reparto, se estima que se encuentran dentro del rango permisible.

3.2.1.2 Conclusión del ejemplo.

En este ejemplo con una sola fibra óptica, en un lugar tan lejano como la Universidad, sin utilizar todas las potencialidades de GPON (hasta 64 usuarios por fibra óptica), con mínimas inversiones en la última milla y con todas las bondades que presenta la utilización del Centro de ETECSA como punto de distribución, se resuelven los problemas actuales de velocidad a los usuarios de la zona y además deja previsto la solución de los usuarios potenciales.

3.2.2 Zona Industrial

En este otro ejemplo la instalación del soterrado termina en el Centro de ETECSA ubicado en el límite territorial de la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas. Esta zona tiene una densidad de 5 u /km² de los cuales se tomarán los más cercanos a dicho centro como referencia para el ejemplo, los demás podrían ser atendidos desde registros del soterrado que se encuentren más cerca con el objetivo de acortar al máximo la última milla.

Los usuarios serían: Centro y Almacén de ETECSA, Unidad Provincial de Bomberos, Prisión Provincial y Empresa Industrial de Instalaciones Fijas, ver figura 3.4. Todos estos usuarios serán atendidos con una topología FTTH(ETECSA, 1997).



Figura 3.4 Representación geográfica de los usuarios en la zona Industrial(Earth, 2014).

Como se ve en las figuras 3.1 y 3.4, existe alrededor de este lugar una zona muy extensa de baja densidad de usuario. No obstante en la zona existen usuarios reales y potenciales con las mismas necesidades. Debido a la lejanía no se puede usar tecnología VDSL y en algunos lugares ninguna variante DSLAM, y de utilizarlos no se estaría optimizando la

última milla por lo que para atender a la zona (o zonas con estas características) es necesario utilizar tecnología inalámbrica *WI- FI, WIMAX*, etc.

Como en el ejemplo anterior sería propicio aprovechar las bondades al utilizar este Centro de ETECSA como punto de distribución, agregando la posibilidad de utilización de un mástil donde se pueden ubicar las antenas para las conexiones inalámbricas. Desde este lugar hasta la Prisión Provincial y la Unidad de Bomberos Provincial, ya existen las instalaciones de cables de fibra óptica que tendrán una mejor utilización con la nueva tecnología. Hacia la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas se pondrá un cable de 300m soterrado de seis fibras ópticas con los dos ODFs correspondiente. Los terminales de Centro y Almacén de ETECSA serán conectados mediante *Jumper Óptico* , por las distancias a las que se encuentran.

Es necesaria la utlización de un *splitter* con relación de división 1:16 que atienda los cinco usuarios FTTH mencionados y prever varios terminales adicionales FTTB que atenderían los terminales DSLAM para la implementación de la RED CUBA en el área residencial “José Martí” y “Manuelita” con 7200 usuarios potenciales. Estas serían dos variantes como medio de optimizar el uso de la tecnología según las demandas de velocidades de los usuarios potenciales.

De forma representativa se realiza el cálculo de la Prisión que es el punto más lejano. Tomando como referencia el ejemplo anterior (ecuaciones y tablas de datos) se tiene:

Utilizando la (*Ecuación 3.1*):

$$A_{(m\acute{a}x)}(1310nm) = 2 * 0,50dB + 1 * 0,15dB + 6,490Km * 0,4 \left(\frac{dB}{Km} \right) + 3dB$$

$$= 6,746dB$$

$$A_{(m\acute{a}x)}(1550nm) = 2 * 0,50dB + 1 * 0,15dB + 6,490Km * 0,25 \left(\frac{dB}{Km} \right) + 3dB$$

$$= 5,772dB$$

Los dos conectores son los del Centro Telefónico en Santa Clara y el ubicado en la Prisión Provincial debido a que los demás están incluidos en los valores de los *splitter*. El diagrama topológico de esta zona es el que se muestra en la figura 3.5.

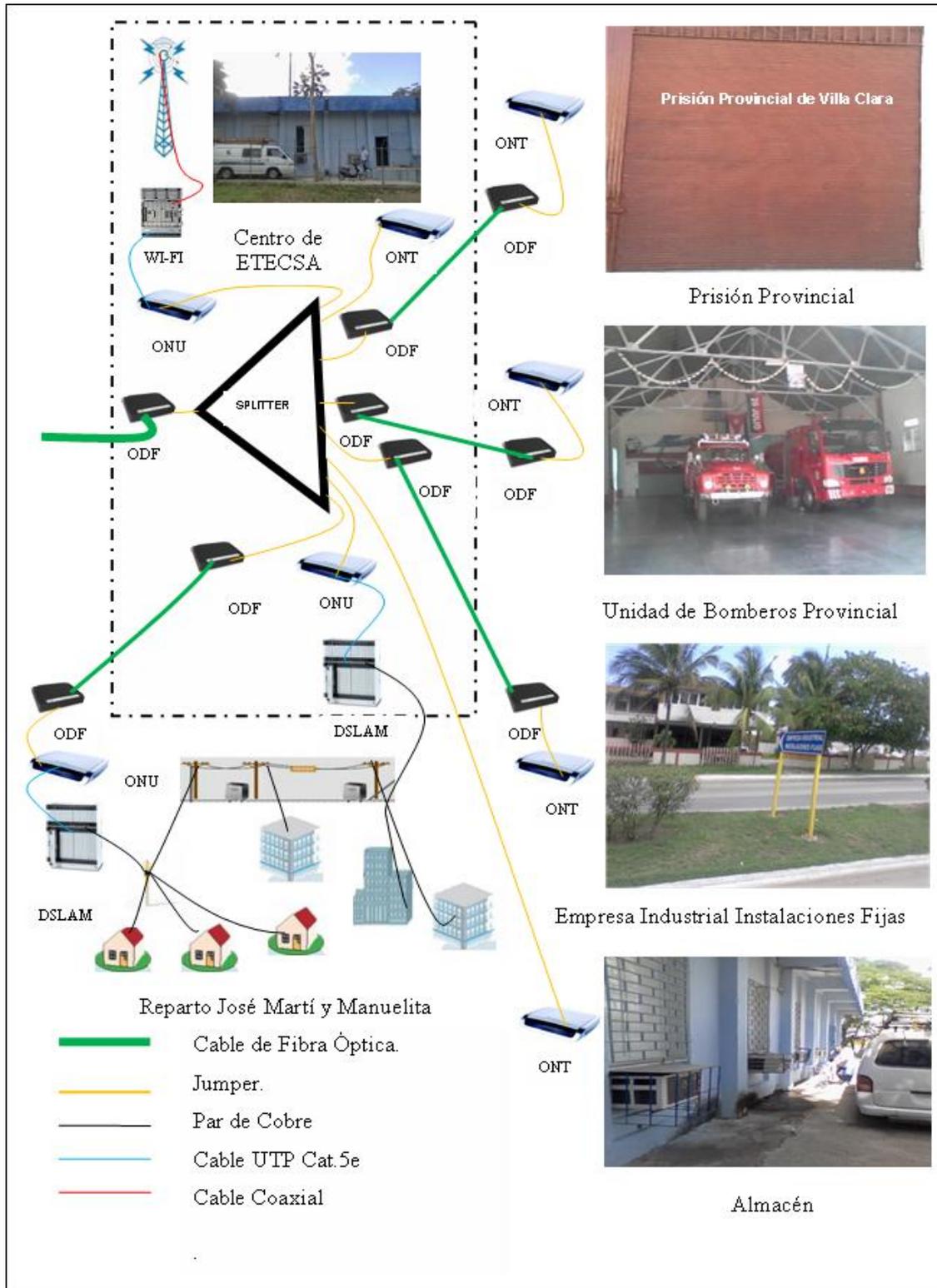


Figura 3.5 Topológico de la red del entorno del Centro de ETEC.SA en zona Industrial.

Solo se considera un empalme porque se necesitan dos bobinas de cable. El margen de seguridad que utiliza contemplará valores por envejecimiento de la fibra óptica y equipos así como posibles empalmes a insertar por la operación y la permisible reutilización de la fibra óptica en cuestión.

Utilizando la (Ecuación 3.2):

$$Pot_{(ONT)}(1310nm) = 1,5dBm - 14,2dB - 6,74dB = -19,44dB$$

$$Pot_{(ONT)}(1550nm) = 1,5dBm - 14,2dB - 5,77dB = -18,47dB$$

Como se muestra estos valores son mucho menores que la sensibilidad de los ONT (-28dBm), lo que deja un presupuesto de potencia de más de 10 dBm comparándolo con los resultados obtenidos para la ventana de 1550nm. Como este es el peor de los casos por la lejanía no es necesario realizar los demás.

3.2.2.1 Terminales DSLAM

Las consideraciones generales son equivalentes a las del ejemplo anterior con la diferencia de que ahora estamos en presencia de un mayor número de usuarios potenciales por lo que habría que disponer de una mayor cantidad de terminales para conectar a estos equipamientos. La cantidad mayor de usuarios a atender está en el margen de los 300, por lo que se utilizará un terminal DSLAM por cada dos manzanas en las áreas mencionadas, para un total de diez terminales. Esta es la topología que se utiliza normalmente y la que aparece en las recomendaciones internacionales.

3.2.2.2 Terminales WI-FI

Como se explica al principio de este ejemplo existen usuarios como “Motores del Centro”, “Logística del Minaz”, “Empresas de la Construcción”, “Planta Mecánica” y otros que están muy dispersos en una amplia zona geográfica, por lo que se hace apropiado utilizar tecnología inalámbrica para ser atendidos. Al ser utilizado el Centro de ETECSA como punto de distribución, se dedica un terminal ONU que atienda un equipamiento *WI-FI* de muy fácil montaje, por existir todas las instalaciones necesarias para ubicar cada uno de sus elementos. La altura recomendable de la antena sería de veinte metros por el perfil plano de la región y la utilización actual del mástil de treinta metros de altura y con un total de tres antenas instaladas.

Los equipamientos convencionales de redes inalámbricas (ver Capítulo 1, epígrafe 1.2.3), suplen sin inconveniente alguno las condiciones de tráfico necesario.

3.2.2.3 Conclusión del ejemplo

Como en conclusiones del ejemplo anterior es de fácil visibilidad que al utilizar GPON se hace un buen aprovechamiento de las instalaciones existentes minimizando las inversiones a realizar en lo relacionado con la última milla, en este ejemplo se agrega la posibilidad de utilizar tecnologías inalámbricas, como *WI-FI*, para atender zonas muy extensas con usuarios dispersos. Comparando los resultados con los del ejemplo anterior, se estima que aun teniendo distancias mucho menores, las potencias de entrada al ONT es más baja, lo cual viene dado por las diferencias de atenuaciones que introducen los *splitter* de 1:8 y 1:16 (aproximadamente 4dB).

Del desarrollo del ejemplo podemos inferir la necesidad de la utilización del *splitter* de 1:16 para así atender los seis terminales FTTH y diez terminales FTTB para DSLAM. Lo que suman los dieciséis disponibles. Posibles crecimientos se realizarán con la utilización de nuevas fibras ópticas.

3.2.3 Zona Centro

Para este ejemplo todas las instalaciones soterradas de la ciudad tienen como punto de partida el Centro Telefónico de Santa Clara, ubicado muy convenientemente para el proyecto en el centro de la zona y es necesario utilizarlas todas para dar servicios a los usuarios.

Es la zona de mayor densidad de usuarios (más de 100 u/Km²), ver figura 3.1 y para una mayor comprensión de su estado geográfico ver figura 3.6(ETECSA, 2000).

Como el número de usuarios en la región es tan elevado, solo se tomarán una cantidad de ellos agrupados alrededor del registro situado en “Máximo Gómez” y “Boulevard” que será utilizado como punto de distribución. Desde este lugar con topología FTTH se atenderán los sesenta y un usuarios ubicados en las cuatro manzanas circundantes. En el registro se ubica un *splitter* con relación 1:64, del cual saldrá un cable de veinticuatro

fibras ópticas en cada una de las cuatro direcciones que distribuirán en forma de cascada a cada uno de los usuarios. El método de acceso estará contemplado de la siguiente manera:

- ✚ En las direcciones que corresponden con el “Boulevard” y Parque, se analizará la posibilidad de continuar por los soterrados y se accede hasta los usuarios mediante el uso de los laterales.
- ✚ En sentido de la calle de “Máximo Gómez” se implementará entonces de forma aérea.

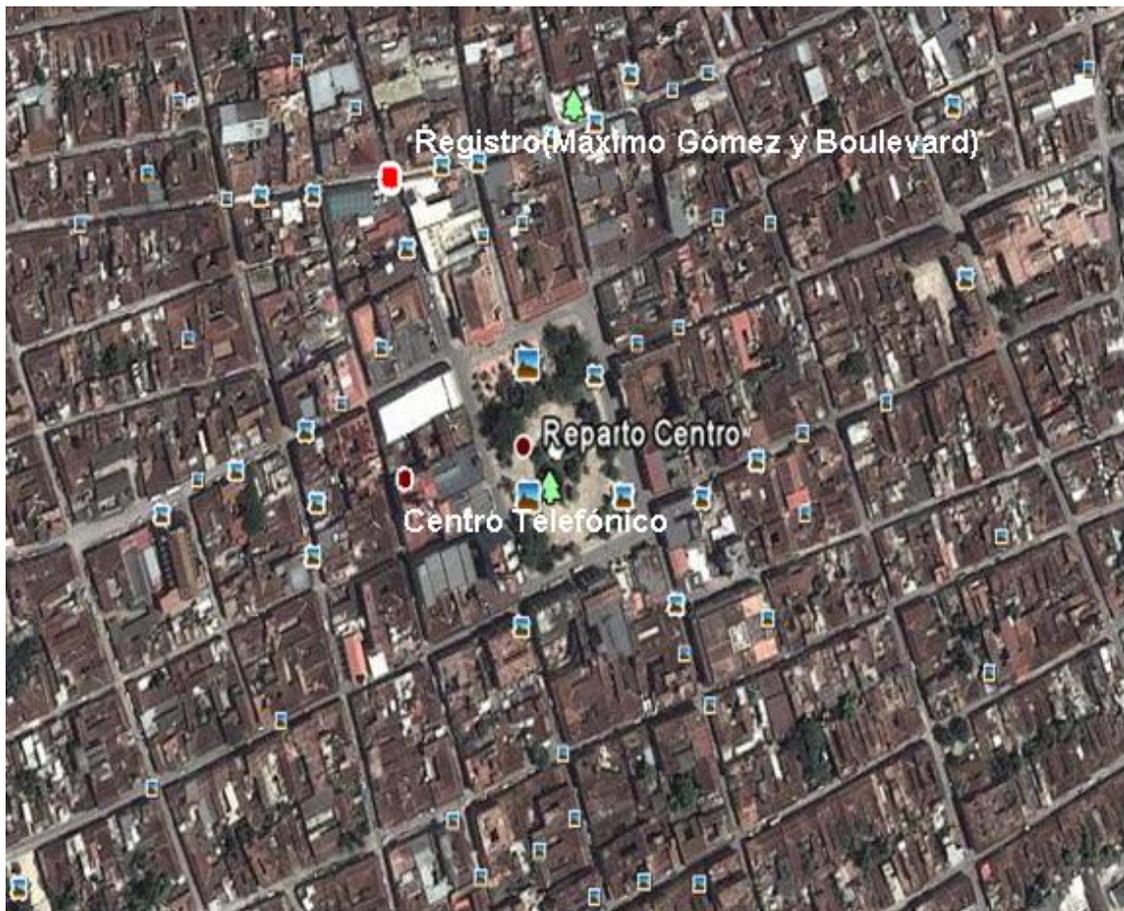


Figura 3.6 Representación geográfica de los usuarios en la zona Centro (Earth, 2014).

El diagrama topológico de esta zona es el que se muestra en la figura 3.7.

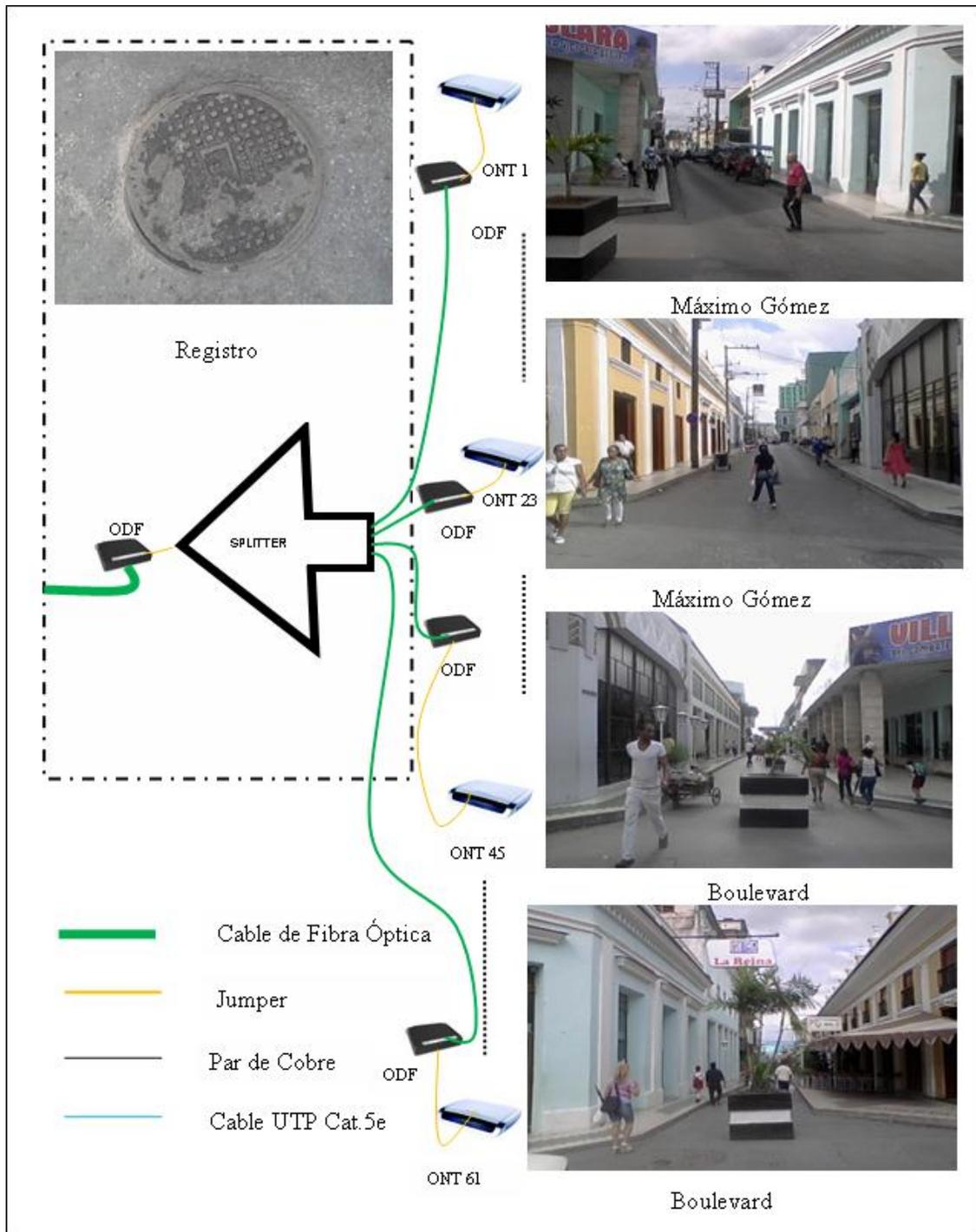


Figura 3.7 Topológico de la red del entorno de la zona Centro de Santa Clara.

De forma representativa se realiza el cálculo de la tienda “Artex” ubicada en “Máximo Gómez” entre “Martí” e “Independencia” que es el usuario más lejano. Tomando como referencia los ejemplos anteriores (ecuaciones y tablas de datos) se tiene:

Utilizando la (Ecuación 3.1):

$$A_{(m\acute{a}x)}(1310nm) = 2 * 0,50dB + 0 * 0,15dB + 0,5Km * 0,4 \left(\frac{dB}{Km} \right) + 3dB = 4,2dB$$

$$A_{(m\acute{a}x)}(1550nm) = 2 * 0,50dB + 0 * 0,15dB + 0,5Km * 0,25 \left(\frac{dB}{Km} \right) + 3dB = 4,13dB$$

Los dos conectores son los del Centro Telefónico en Santa Clara y el ubicado en la tienda debido a que los demás están incluidos en los valores de los *splitter*. El margen de seguridad que utilizamos contemplará valores por envejecimiento de la fibra óptica y equipos, posibles empalmes a insertar por la operación y la viable reutilización de la fibra óptica en cuestión.

Utilizando la (Ecuación 3.2):

$$Pot_{(ONT)}(1310nm) = 1,5dBm - 17,5dB - 4,2dB = -20,2dB$$

$$Pot_{(ONT)}(1550nm) = 1,5dBm - 17,5dB - 4,13dB = -20,13dB$$

Como se percibe, estos valores son mucho menores que la sensibilidad de los ONT (-28dBm) lo que deja un presupuesto de potencia de más de 8 dBm, comparándolo con los resultados obtenidos para la ventana de 1550nm. Como este es el peor de los casos por la lejanía no es necesario realizar los demás.

3.2.3.1 Conclusión del ejemplo

Comparando este ejemplo con los anteriores se valora que aun teniendo distancias mucho menores, la potencia de entrada al ONT es más baja, lo cual viene dado también por las diferencias de atenuaciones que introducen los *splitter* de 1:8, 1:16 y 1:64 (aproximadamente 4dB).

3.3 Generalización del proyecto a toda la provincia de Villa Clara

Las consideraciones generales para acometer esta tarea son las mismas de los epígrafes anteriores, por lo que no se hará énfasis en casos puntuales sino de forma general en cómo

llevar esta red a todos los municipios. Según la distancia, algunos municipios podrán atenderse desde Santa Clara con la utilización de *EXTENDER* (ver Capítulo 2, epígrafe 2.4.5), para minimizar la inversión en equipamiento o necesitarán la instalación de bastidores de OLT. La siguiente tabla muestra las distancias entre el Centro Telefónico de Santa Clara, donde se encontrará el nodo principal con los terminales de mantenimiento, (ver Capítulo 2, epígrafe 2.4.1).

Tabla 3.2 Distancias por cables de fibra óptica desde los Municipios hasta el Centro Telefónico de Santa Clara(ETECSA, 2000).

Municipio	Distancia (Km)	Comparación con el rango del <i>EXTENDER</i>
Caibarién	75	Fuera del Rango
Remedios	65	Fuera del Rango
Camajuaní	28	Dentro del Rango
Encrucijada	33	Dentro del Rango
Cifuentes	55	Fuera del Rango
Sagua la Grande	88	Fuera del Rango
Quemado de Güines	109	Fuera del Rango
Corralillo	155	Fuera del Rango
Santo Domingo	38	Dentro del Rango
Ranchuelo	25	Dentro del Rango
Manicaragua	33	Dentro del Rango
Placetas	37	Dentro del Rango

Como se ve en la tabla 3.2, existen municipios que se encuentran dentro del rango del *EXTENDER* y otros que no, por esta razón se ubicarán bastidores OLT, solamente en los municipios de Sagua y Caibarién que son los que se encuentran fuera del rango. Desde el municipio de Sagua se podrá atender al municipio Cifuentes, toda la zona de Corralillo y Quemado de Güines, además desde Caibarién se podrá asistir Remedios. Los municipios están enlazados en la actualidad por cables de fibra óptica G.652 con al menos dos fibras disponibles para este fin y que terminan en los centros telefónicos principales de dichos lugares. Además existen cables con fibras disponibles que enlazan las cabeceras municipales con otros poblados más pequeños donde existen usuarios potenciales y reales por ejemplo Rancho Veloz (ETECSA, 2000, ETECSA, 2005).

En municipios como Placetas con una alta densidad poblacional y de usuarios (ver Anexo 6), aunque las distancia permiten la utilización de *EXTENDER*, es recomendable ubicar un bastidor OLT para minimizar la cantidad de fibras ópticas a utilizar en los cables de transporte.

En los casos que se utilice OLT en los municipios, la salida de 10Gbit de cada bastidor será enlazada con el *switch* integrador (ver Capítulo 2, epígrafe 2.4.6), en Santa Clara por un sistema de transporte que soporte esta velocidad, una propuesta recomendable sería utilizar el mismo tipo de *switch* y será insertado a la salida de este, la Red Nacional de Datos que por raciocinio deben emigrar a velocidades mayores que las utilizadas actualmente, las cuales consisten en un *Router* P de una velocidad de 1Gbit con tres salidas en direcciones hacia Oriente, Sur y Occidente que se insertan en la red DWDM.

Sería de gran provecho ubicar un Terminal de Mantenimiento donde quiera que exista al menos un bastidor OLT. Con estos datos el diagrama topológico es el que se muestra en la figura 3.8.

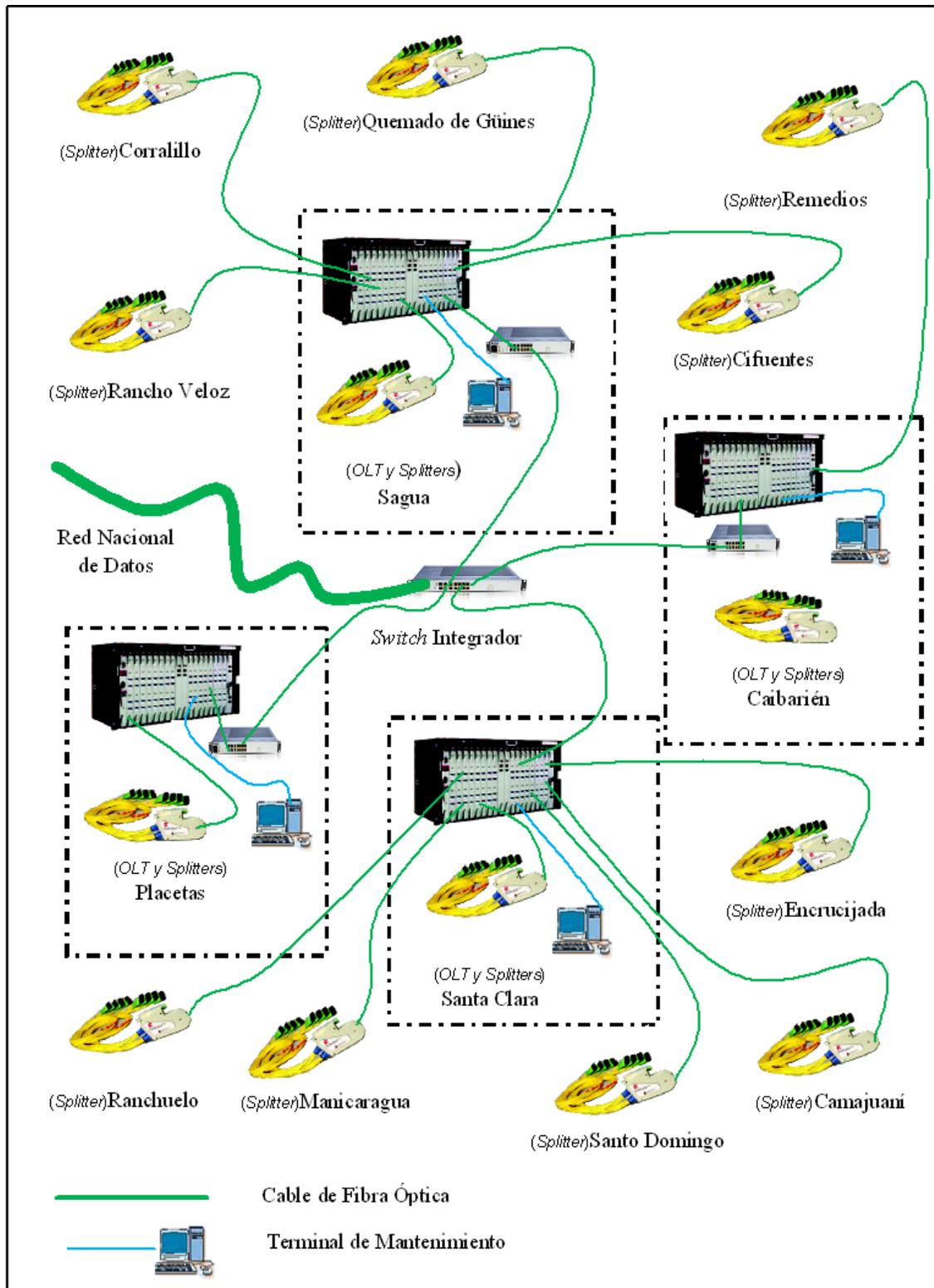


Figura 3.8 Topológico de la red en la provincia de Villa Clara.

3.4 Análisis Económico

Un análisis precedente para validar la utilización de redes GPON puede partir de una comparación con las redes de cobres actuales o las necesarias para lograr servicios de baja o alta velocidad generalizados geográficamente, donde se muestran algunos datos reales sobre los presupuestos necesarios (*ver Anexo 7*), para instalar cables de cobre de alta densidad, *outdoor* (Concentrador de 1024 líneas que se ubica en zonas apartadas y se puede alimentar con fibra óptica o radio) y cables de fibras ópticas(ETECSA, 2005).

Un resumen comparativo de estos datos es el que se muestra a continuación, tabla 3.3, en la cual se aprecia que las diferencias de costos por usuarios son muy grandes, entre las redes de cobre puro, las redes que utilizan *outdoor* y las redes que solo utilizan fibra óptica, por lo que con este estimado no es exagerado asumir que GPON va ser mucho más económico desde el punto de vista de instalación, además del ahorro que significan los acápites expresados en el (Capítulo 2, *epígrafe 2.1*).

Tabla 3.3 Resumen comparativo de costos(ETECSA, 1997, ETECSA, 2005).

Cantidad de Usuario a conectar	1856	2000	2400					
				Costo FO	Costo Cobre puro	Outdoor - FO	Diferencia Cobre Puro - FO	Diferencia Outdoor - FO
Alimentador (Feeder)	18.975,96 USD		96.490,14 USD					77.514,18 USD
Distribución (Distribution)		449.400,00 USD	103.200,00 USD			430.424,04 USD		103.200,00 USD
Módulo usuario (Drop)		70.699,11 USD	70.699,11 USD			70.699,11 USD		70.699,11 USD
Total	18.975,96 USD	520.099,11 USD	270.389,25 USD			501.123,15 USD		251.413,29 USD
Costo por Usuario	10 USD	260 USD	135 USD			250 USD		125 USD

3.5 Conclusiones

En este capítulo se plantean pasos fundamentales para acometer el diseño de redes de acceso de alta velocidad, tomando como referencia la ciudad de Santa Clara y como tecnología más apropiada GPON, centrada en tres ejemplos específicos que abarcan todas las topologías a utilizar, la cual permite un buen aprovechamiento de las instalaciones existentes, minimiza las inversiones a realizar en lo relacionado con la última milla y admite la posibilidad de utilizar tecnologías inalámbricas, entre las cuales se propone *WI-FI*, para atender zonas muy extensas con usuarios dispersos. En el caso de ser una zona concentrada lo más recomendable es la utilización de módulos DSLAM o con fibra óptica hasta el centro si es un usuario potencial. En cuanto a atenuación se puede inferir que las distancias no son las de mayor aporte a este parámetro no deseado, pues se ve que aun teniendo distancias menores las potencias de entrada al ONT son más bajas, lo cual se aprecia por las diferencias de atenuaciones que introducen los *splitter* de 1:8, 1:16 y 1:64 (aproximadamente 4dB).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Tomando en consideración los objetivos planteados al inicio de este trabajo de diploma, se puede concluir lo siguiente:

- Se efectuó un análisis de las redes de acceso que existen en la actualidad en Cuba y sus proyecciones futuras y se profundizó al detalle en la provincia de Villa Clara.
- Se realizó un estudio bibliográfico sobre varios temas, contenidos principalmente en los anexos que pueden servir como base material de estudio.
- Fue realizado un estudio sobre las recomendaciones internacionales de telecomunicaciones, los manuales de los equipos relacionados y los documentos existentes en ETECSA referente al tema, como base fundamental para comprender los pasos necesarios a seguir para la implementación de una red de acceso de alta velocidad.
- Se logró llevar a la práctica la guía propuesta en la confección de una tarea técnica para la ciudad de Santa Clara, que fue propuesta a la dirección nacional de ETECSA.

Recomendaciones

Por los resultados obtenidos en el trabajo de tesis y su compatibilidad con las diferentes estructuras y normas de ETECSA se propone:

- Recomendar a ETECSA la utilización de esta guía para confeccionar las metodologías necesarias que permitan estructurar los procesos de inversiones relacionados con redes de acceso.
- Garantizar que la guía propuesta para la realización de inversiones de redes de acceso continúe su camino evolutivo y escalable, con motivo de evitar que se vuelva obsoleta ante las nuevas tecnologías.
- Se recomienda la utilización de esta tesis como base material de estudio de las asignaturas relacionadas con el tema en la UCLV.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, A. 2013. *Redes Locales*, Madrid, McGraw-Hill Interamericana de España.
- ALCATEL-LUCENT. 2005. Alcatel 7342 Intelligent Service Access Manager (ISAM) Fiber to the User (FTTU). Available: <http://www.alcatel.com>.
- ÁLVAREZ, M., BERROCAL, J., GONZÁLEZ, F., PÉREZ, R., ROMÁN, I. y VÁZQUEZ, E. 2009. *Tecnología de banda ancha y convergencia de redes*, Madrid, Ministerio de industria, turismo y comercio.
- BENEREEJI, S. y CHOWDHURY, R. S. 2013. On IEEE 802.11:Wireless LAN technology. *International Journal of mobile network communications & telematics* [Online], 3. Available: <http://arxiv.org> [Accessed 27 de Noviembre del 2013].
- BERRIO, A. F. 2013. Redes PON. Available: <http://www.furukawa.com> [Accessed 18 de Diciembre del 2013].
- BISBÉ, V. Y. y GARCÍA, H. 2011. *Propuesta de red de acceso de banda ancha para implementar el Programa Nacional de Informatización en la Habana*. Ingeniería, José Antonio Echeverría.
- BOCALANDRO, J. 2010. Introducción a las comunicaciones por fibra óptica. Centro de Capacitación ETECSA. La Habana. Cuba.
- CAMACHO, R. L. 2011. *Propuesta de sustitución de las centrales TANDEM con tecnología de Redes de Próxima Generación*. Maestría, Universidad Central Martha Abreu de las Villas.
- CARBELLEIRO, G. 2012. *Redes Wi-Fi en entornos Windows*, Buenos Aires, Users.
- CEVALLOS, R. A. y MONTALVO, R. 2010. *Estudio y diseño de una red de última milla, utilizando la tecnología G-PON, para el sector del nuevo aeropuerto de Quito*. ingeniería, Escuela Politécnica Nacional.
- CEVALLOS, R. A. y MONTALVO, R. R. 2010. *Estudio y diseño de una red de última milla, utilizando la tecnología G-PON, para el sector del nuevo aeropuerto de Quito*. Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional.
- CORLETTI, A. 2011. *Seguridad por niveles*, Madrid, Darfe.

- COYA, L., LEDESMA, T. O., BALUJA, W. y MARICHAL, L. A. 2014. Detección de nodos en el entorno inalámbrico(Wi-Fi). *Telemática*.
- DÁVALOS, E. J. 2010. *Reconfiguración con mínimas disrupciones en redes ópticas WDM: Una nueva propuesta basada en Optimización por Colonias de Hormigas*. Maestría, Universidad Nacional de Asunción.
- EARTH, G. 2014. Mapas del mundo.
- ETECSA 1997. Norma Obligatoria ETEC V3 PE-01: 97. Soterrado para cables de comunicaciones, requisitos de proyectos. Planta exterior.
- ETECSA 2000. Norma ETEC V3 PE-03: 99 “Instalación de postes para cables de comunicaciones, 2000.”.
- ETECSA 2005. PT-11-002-25/05 Supervisión del tendido, empalme y medición del cable de fibra óptica soterrado.
- FURUKAWA. 2013. Soluciones para infraestructura Óptica FTTH y FTTA. Available: <http://www.furukawa.com>.
- GOANA, L. A. y SANTILLÁN, L. P. 2013. *Análisis de factibilidad del área técnica y diseño de una red FTTH G-PON en el sector de Cumbayá*. Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana.
- HOLT, A. y HUANG, C. Y. 2010. *802.11 Wireless Networks :Security and Analysis*, London, Springer.
- HUAWEI. 2009. Huawei All-in-one Access Platform MA5600T. Available: <http://www.huawei.com> [Accessed 12 de Mayo del 2014].
- ILLESCAS, E. 2012. *Estudio y diseño de una red G-PON que provea de servicios de voz, video y dato para el sector de la Carolina en el distrito metropolitano de Quito, para la CNT*. Ingeniería, Universidad Tecnología Israel.
- ITU-T 2002. G.650.1: Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.
- ITU-T 2003. G.652: Características de la fibras y cables ópticos monomodo.
- ITU-T 2008. G.984.3 Gigabit-capable Passive Optical Networks(G-PON): Transmission convergence layer specification.
- KUROSE, J. F. y ROSS, K. W. 2010. *Redes de Computadoras: Un enfoque diferente*, Madrid, Pearson.
- LABEAGA, H. 2007. *Estudio de viabilidad técnico-económico para la implantación de una red TRIPLE-PLAY en el minicipio de Castelldefels*. Ingeniería, Escuela Politécnica de Catalunya.
- MIGGA, J. 2013. *Guide to computer : Network security*, London, Springer.
- PELLEJERO, I., ANDREU, F. y LESTA, A. 2006. *WLAN:Seguridad en redes Wlan*, Deusto, Empresa Digitala.
- PIETROSEMOLI, E., ZENNARO, M., FONDA, C., OKAY, S., AICHELE, C., BÜTTRICH, S., FORSTER, J., WIERENGA, K., VYNCKE, E., BAIKIE, B.,

-
- HOSMAN, L., GINGULD, M. y TOGO, E. 2013. *Redes inalámbricas en los países en desarrollo* Copenhagen, Creative Commons Attribution -ShareAlike 3.0.
- PUPO, H. A. 2011. *Propuesta de tecnología de banda ancha para sustitución de centrales de conmutación en las Tunas*. Maestría, Universidad Central Martha Abreu de las Villas.
- SALVETTI, D. 2011. *Redes Wireless :Instalación, configuración y mantenimiento de hardware y software*, Buenos Aires, Users.
- SUÁREZ, K. C. 2012. *Reingeniería de la red MAN de la corporación nacional de telecomunicaciones-Loja y diseño de una red G-PON para sus clientes corporativos*. Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional.
- TELNET. 2014. GPON-EXTENDER. Available: <http://www.Telnet-ri.es> [Accessed 15 de Mayo del 2014].
- WI-FI, G. 2014. Introducing. Available: <http://www.5gwifi.org> [Accessed 9 de Mayo del 2014].

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line): Línea de Abonado Digital Asimétrica.

AES (Advanced Encryption Standard): Estándar de criptografía simétrica. Es un esquema de cifrado por bloques adoptado como un estándar de cifrado.

APON (ATM (Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network): Red Óptica Pasiva.

ATM (Asynchronous Transfer Mode): Modo de Transferencia Asíncrona. Es una tecnología de telecomunicación desarrollada para hacer frente a la gran demanda de capacidad de transmisión para servicios y aplicaciones.

B

BPON (Broadband PON): Red Óptica Pasiva de Banda Ancha.

BWA (Broadband Wireless Access): Acceso Inalámbrico de Banda Ancha.

C

CATV-RF: Servicio de video radio frecuencia.

CWDM (*Coarse WDM*): WDM Aproximada.

D

DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer): Multiplexor de acceso a la línea de suscriptores digitales.

DSL (Digital Signal Line): Suscriptor de Línea de Abonado.

DWDM (*Dense WDM*): WDM Denso.

E

EPON (Ethernet PON): Ethernet sobre Red Óptica Pasiva.

ETECSA: Empresa de Telecomunicaciones de Cuba SA.

F

FOT (Fiber Optical Termination): Terminación de Fibra Óptica.

FSO (Optical Free Space): Redes Ópticas por espacio libre.

FTTB (Fiber To The Building): Fibra hasta el edificio.

FTTC (Fiber To The Corner): fibra hasta la esquina.

FTTH (Fiber To The Home): fibra hasta la casa.

FTTN (Fiber To The Node): fibra hasta un nodo.

G

GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network): Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit, tecnología de acceso mediante fibra óptica con arquitectura punto a multipunto más avanzada en la actualidad puede proporcionar hasta 2.5 Gbps de bajada y 1.2 Gbps de subida y soporta distancias de 20 a 60 Km.

GEM (GPON Encapsulation Method): Método de Encapsulación GPON Se trata de un nuevo protocolo definido por la G.984s para utilizarse en GPON.

H

HDTV (High Definition Television): Televisión de alta definición. Es uno de los formatos que, junto a la televisión digital, se caracterizan por emitir señales televisivas en una calidad digital superior a los sistemas tradicionales analógicos de televisión en color.

I

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering): Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas.

IP/MPLS (Internet Protocol/Multi-Protocol Label Switching): Protocolo de Internet/Multiprotocolo por Conmutación de Etiquetas.

ITU (International Telecommunication Union): Unión Internacional de Telecomunicaciones. Es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

L

LAN (Local Area Network): Red de Area Local.

M

MIC: Ministerio de Informática y las Comunicaciones.

MPLS (Multi Protocol Label Switching): Multiplexación a Base de Etiqueta.

N

NG: Nueva Generación.

O

OAM (Operation, Administration and Maintenance): Operación, Administración y Mantenimiento.

ONU (Optical Network Unit): Nodo de red de Acceso.

ODF (Optical Distribution Frame): Repartidor óptico.

ODN (Optical Distribution Network): Red de distribución óptica. Es una red de distribución óptica de la fibra física y dispositivos ópticos que distribuyen las señales a usuarios en un FTTx red.

OLT (Optical Line Termination): Terminación de línea óptica. Es un dispositivo que sirve como el extremo de proveedor de servicio de una red óptica pasiva, cuenta con dos funciones principales como realizar la conversión entre las señales eléctricas utilizadas por el equipo del proveedor de servicios y los de fibra óptica de señales utilizadas por la red óptica pasiva y coordinar la multiplexación entre los dispositivos de conversión en el otro extremo de dicha red.

ONT (Optical Network Termination): Terminación de red óptica. Es el elemento situado en casa del usuario que termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario.

P

PON (Passive Optical Network): Red óptica pasiva. Esta red permite eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos guiando el tráfico por la red.

S

SDH (Synchronous Digital Hierarchy): Jerarquía Digital Sincrónica.

T

TDM (Time Division Multiplexing): Multiplexación por División del Tiempo.

TDMA (Time Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División del Tiempo.

Triple-Play: Concepto que engloba a un único usuario con una conexión telefónica, televisión e Internet en un mismo paquete.

U

UIT-T (Standardization Sector of the International Telecommunication Union): Unión Internacional de Comunicaciones del Sector de Normalización de las Telecomunicaciones.

V

VDSL (Very high bit-rate Digital Subscriber Line): DSL de muy alta tasa de transferencia.

W

WAN (Wireless Area Network): Área de red Inalámbrica.

WDM (Wavelength Division Multiplexing): Multiplexación por longitud de onda.

WIFI (Wireless-Fidelity): Red local inalámbrica de alta velocidad.

WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access): Acceso Inalámbrico por Microondas.

X

xDSL (Digital Subscriber Line): Línea digital de abonado.

ANEXOS

Anexo 1: Principales aspectos teóricos relacionados con Fibra Óptica.

+ Clases de Fibra Óptica

Las fibras ópticas se pueden clasificar teniendo en cuenta el modo de propagación en, Multimodo y Monomodo y en cuanto a distribución del índice de refracción en Indica Escalonado o Gradual.

+ Según la distribución del índice de refracción

La Fibra Óptica por la diferencia de la distribución se puede dividir en dos clases principales:

- **Fibra óptica de indica escalonado**

Donde el índice de refracción se cambia en forma escalonado entre el núcleo y el revestimiento adoptando la forma de una escalera o ángulo agudo.

- **Fibra óptica gradual**

Donde la distribución del índice de refracción se cambia gradualmente, en este caso el índice de refracción en el núcleo disminuye continuamente a medida que se aleja desde el eje central de la fibra.

+ Por modos de propagación

- **Fibra Multimodo**

En este tipo de fibra se propagan más de un modo de la misma longitud de onda dentro del núcleo de la fibra óptica; es decir un haz de luz toma diferentes trayectorias. Una fibra

multimodo se utiliza comúnmente en aplicaciones de comunicaciones de corta distancia (ver figura siguiente).

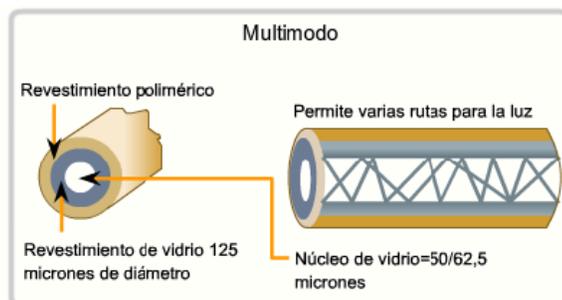


Figura 1. Fibra óptica multimodo.

Una fibra multimodo tiene un núcleo de 50 o 62.5 micrones y una cubierta de 125 micrones de diámetro. La fuente de luz que suele utilizarse con las fibras multimodo es un LED, la distancia máxima para un enlace de fibra óptica multimodo ($62,5 / 125$) es de 3 Km.

- **Fibra Monomodo**

En la fibra monomodo se propaga un solo modo dentro del núcleo de la fibra óptica, es decir la luz se viaja casi paralela por el eje del núcleo de la fibra (ver figura siguiente).



Figura 2. Fibra óptica monomodo.

La fibra monomodo está caracterizada por transmitir señales a mayor velocidad, contener un núcleo de pequeñísimo diámetro, baja atenuación y gran ancho de banda. Una fibra monomodo tiene habitualmente un núcleo de 8 micrones y una cubierta de 125 micrones de diámetro. La fuente de luz utilizada para las fibras ópticas monomodo es un láser. Este láser es generado por un diodo láser semiconductor, la distancia máxima para un enlace de fibra óptica monomodo es de 20 km. En la actualidad, la mayor cantidad de fibras producidas en el mundo es de fibras monomodo, las cuales son proyectadas para operar en la segunda y/o tercera ventanas de transmisión, es decir de 1285 a 1339nm y de 1525 a 1575nm.

Anexo2: Resumen de las principales recomendaciones

- ✚ **UIT-T G.650:** propone la modelización de la atenuación espectral como tercer método de prueba alternativo para medir la atenuación. Esta Recomendación contiene definiciones de los parámetros estadísticos y no lineales de fibras y cables monomodo.
- ✚ **UIT-T G.651:** Esta Recomendación trata de las propiedades geométricas y de transmisión de las fibras multimodo que tienen un diámetro nominal del núcleo de 50 μm y un diámetro nominal del revestimiento cubierta de 125 μm .
- ✚ **UIT-T G.652:** Esta Recomendación describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de fibras y cables ópticos monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm. En un principio, esta fibra fue diseñada para funcionar óptimamente en la región de longitud de onda de 1310 nm, pero puede asimismo utilizarse en la región de 1550 nm.
- ✚ **UIT-T G.653:** Esta Recomendación describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión cero desplazada en la región de longitud de onda de 1550 nm.
- ✚ **UIT-T G.654:** En esta Recomendación se describen los atributos relativos a la transmisión de las fibras y los cables ópticos monomodo con corte desplazado. Las definiciones y los métodos de prueba son objeto de otra Rec. UIT-T G.650.
- ✚ **UIT-T G.655:** En esta Recomendación se describen las características de la transmisión de una fibra monomodo y del correspondiente cable cuya utilización se prevé en la ventana de 1550 nm.
- ✚ **UIT-T G.656:** Esta Recomendación describe los atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de una fibra óptica monomodo a través de la gama de longitudes de onda de uso anticipado de 1460-1625 nm.
- ✚ **UIT-T G.657:** La finalidad de esta Recomendación es promover esa optimización recomendando a tales efectos cables y fibras con un comportamiento muy mejorado ante las flexiones en comparación con los cables y fibras monomodo G.652.

Anexo 3: Principales elementos de unión e interconexión

- ✚ **Pigtail:** Los *Pigtails* están formados por cordones de fibra. Fibra descubierta en el otro extremo para ser empalmado a la fibra del cable principal. Un conector en uno de los extremos que sirve de interfaz con los equipos.

- ✚ **Jumper:** Cordones de fibra óptica con conectores en los extremos que sirven de interfaz con los equipos. Existen de diversas dimensiones 3, 7, 10, 15,30m etc...Ver la siguiente figura.



Figura 1. Elementos de interconexión.

- ✚ **Conectores:** Los tipos de conectores más habituales que se utilizan para terminar una fibra óptica son:
 - ST.- es un buen conector, popular para conexiones de fibra monomodo y multimodo con unas pérdidas en promedio de 0.5 dB.
 - . FC.- se lo utiliza para fibra monomodo, es un buen conector y se lo conoce también como FC-PC. Tiene bajas perdidas, con un promedio aproximado de 0.4 dB.

- D4.- este tipo de conector se usa principalmente para fibras monomodos. SC.- es un nuevo conector modular, de alta densidad. Tiene bajas perdidas (por debajo de 0.5 dB) y es bastante común en instalaciones monomodo. FDDI.- este conector es el conector estándar de fibra óptica para FDDI. Es del tipo dúplex con llave, conectando dos fibras a la vez.
- LC y MT-Array que se utilizan en transmisiones de alta densidad de datos.



Figura 2. Tipos de conectores.

Anexo 4: Tipos de Empalmes

+ Empalmes mecánicos

- Alto rendimiento.
- Instalación en el acto.
- Mayor productividad
- Pocas herramientas.
- Fácil de usar.
- Sin electricidad

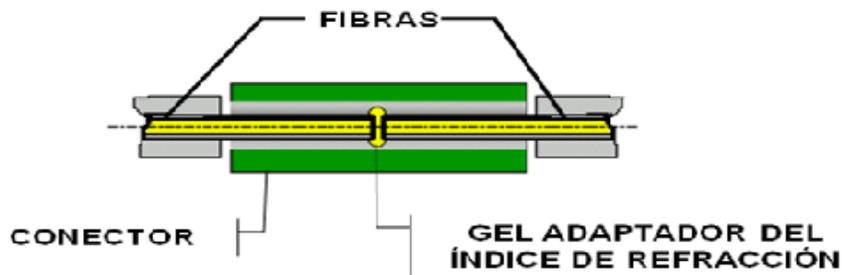


Figura 1. Empalme mecánico.

Empalmes por fusión: Calentar los dos extremos de las fibras a empalmar hasta el punto de fusión por el método de un arco eléctrico.

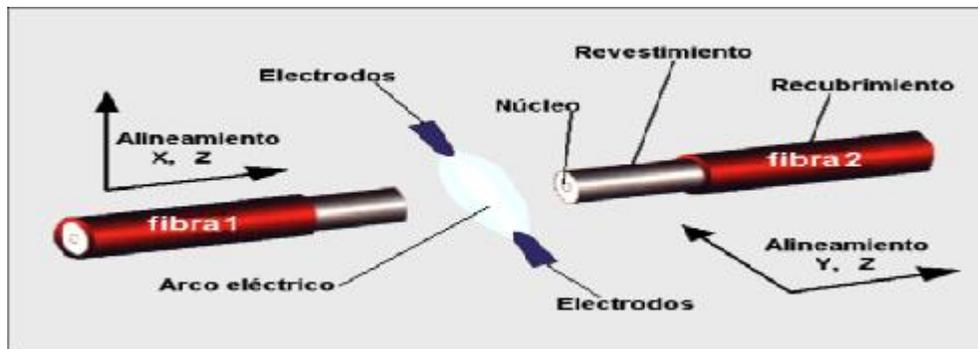


Figura 2. Empalme por fusión.

Anexo 5: Principales modos de instalación

+ Tendido enterrado

- Recomendado cuando no hay infraestructura.
- Puede emplearse en centros poblados, menos poblados y en la periferia.
- Determinar las condiciones del suelo a lo largo de la ruta para seleccionar la maquinaria y equipos adecuados.

+ Microzanjas y minizanjias

- Fundamentalmente para las redes de acceso.
- Se realiza en las aceras y bordes de las calles.
- Para la conexión del cable entre la caja de empalme y el cliente

Ancho de la zanja (15 a 30 cm).

- Zanjeadora de cadena para suelo blando: 15 cm.
- Zanjeadora de suelo duro y hormigón (aceras, calles): 20 cm.

Profundidad de la zanja.

- Depende del tipo de suelo.

+ Instalación aérea

- Sentido del tendido del cable aéreo: sentido del tránsito, de lo contrario tomar fuertes medidas de seguridad.
- Carrete: perpendicular a la posteria y debe salir por arriba.
- En curvas con ángulos entre 10 y 60 grados colocar 2 poleas. Si el ángulo es mayor de 60 grados se debe terminar la instalación, realizar una figura en 8 y luego continuar.

Anexo 6: Censo de población y viviendas

Relación de Asentamientos Humanos con población de 300 y más personas según Provincia y Municipios. Censo de Población y Viviendas

Cuba/Provincia/Municipio Asentamiento Humano	Cant. Asent.	Zona		Residentes Permanentes	Cantidad de Viviendas
		Urbano	Rural		
CAMAJUANI	20	4	16	52346	17536
001 Camajuani		X		22796	7547
003 San Antonio de las		X		12314	4086
004 Vega Alta		X		1149	402
005 Quinta, La		X		1147	390
100 Aguada de Moya			X	674	225
121 Crucero Carmita			X	704	261
125 Chorrerón			X	614	198
129 Entronque de Vueltas			X	393	135
146 Jutiero			X	835	295
154 Luis Arcos Bergnes			X	1152	386
156 Luz, La			X	733	262
157 Macagual			X	1591	517
175 Palenque			X	431	164
189 Sagua la Chica			X	937	307
198 Taguayabón			X	2106	723
200 Tarafa			X	345	124
202 Vega de Palma			X	1538	531
223 Paraguaitas, Los			X	308	118
238 José María Pérez			X	2247	748

CAIBARIEN	5	1	4	35958	11807
001 Caibarién		X		32679	10672
104 Dolores			X	1009	354
109 Jinaguayabo			X	751	268
118 Refugio			X	796	280
129 Cambaito			X	723	233
REMEDIOS	14	5	9	38118	12885
001 Remedios		X		18603	6267
002 Buena Vista		X		2361	841
003 General Carrillo		X		2661	898
004 Zulueta		X		6180	2024
005 Remate de Ariosa		X		1990	681
106 Chiquitico Fabregat			X	1069	344
113 Francisco Pérez			X	592	209
116 Heriberto Duquesne			X	1522	533
120 Levisa			X	615	234
127 María Luisa			X	302	99
143 San Gregorio			X	330	110
148 Tahón			X	963	315
151 Viñas			X	450	167
158 Alameda			X	480	163

VILLA CLARA	195	66	129	711468	233393
CORRALILLO	15	7	8	23170	8099
001 Corralillo		X		5764	1901
002 Guillermo Llabre		X		508	180
003 Panchita, La		X		801	408
004 Quintín Banderas		X		2602	900
005 Rancho Veloz		X		5777	1986
006 Sierra Morena		X		2528	875
007 Motembo		X		1806	658
101 Caridad, La			X	354	110
136 Palma Sola			X	426	152
151 San Pablo			X	549	158
152 San Pedro			X	372	130
156 San Rafael			X	399	151
161 San Vicente			X	470	179
171 Sierra, La			X	397	131
185 Gavilanes			X	417	180

QUEMADO DE GUINES	10	3	7	18078	5912
001 Quemado de Güines		X		10436	3344
002 Jose Rene Riquelme		X		1812	633
003 Panchito Gómez Toro		X		2161	718
101 Caguaguas de Quemado			X	619	204
102 Carahatas			X	633	209
105 Chuchita			X	323	112
115 Lutgardita			X	601	189
125 Sevilla			X	430	151
139 Pedro Salas			X	435	154
145 Lutgardita			X	628	198

PLACETAS	17	3	14	63093	21229
001 Placetas		X		40982	13554
002 Báez		X		5578	1923
003 Falcón		X		3690	1248
103 Benito Juárez			X	1703	565
115 Ceja-La Legua, La			X	837	306
123 Cuatro Caminos			X	338	121
127 Falero			X	453	162
133 Guaracabulla			X	1662	581
135 Hermanos Ameijeiras			X	2379	804
143 Juan Pedro Carbó Serviá			X	1009	325
149 Manzanares			X	796	291
153 Máximo			X	496	186
154 Miller			X	949	339
155 Nazareno			X	981	374
157 Oliver			X	485	178
159 Pastora, La			X	334	125
207 Granja Parotte			X	421	147

SANTA CLARA	17	4	13	226133	72639
001 Santa Clara		X		210220	67340
003 Hatillo		X		2817	979
004 Julián Grimau		X		1269	362
005 Guayaba, La		X		3460	1130
127 Boquerones			X	373	139
136 Guamajal			X	1007	349
140 Callejón de los Patos			X	587	192
143 Camilo Cienfuegos			X	494	165
234 Estrella			X	769	256
292 Jardín, El			X	529	181
316 Manajanabo			X	1068	363
382 Pulga, La			X	759	261
434 San Miguel			X	362	124
504 Ovidio Rivero			X	584	187
506 Movida, La			X	332	118
543 Sabana Oropesa			X	493	165
544 Frank País			X	1010	328

SAGUA LA GRANDE	11	5	6	54434	17697
001 Sagua la Grande		X		41756	13490
002 Isabela de Sagua		X		2207	755
003 Rosita, La		X		1635	534
004 Sitiecito		X		3871	1241
005 Viana		X		955	316
107 Caguaguas de Sagua			X	876	293
116 Chinchila			X	443	147
126 Jumagua			X	721	254
129 Laberinto-Laportilla			X	689	241
142 Rubia, La			X	458	157
147 Nueva Isabela, La			X	823	269

MANICARAGUA	25	8	17	51615	17055
001 Manicaragua		X		22851	7503
002 Guinía de Miranda		X		3695	1321
003 Jibacoa		X		1135	344
004 Jorobada		X		1168	412
005 Campana, La		X		3103	994
006 Yaya, La		X		820	242
007 Mataguá		X		6674	2172
009 Moza, La		X		3355	1130
104 Arroyo Seco (Viejo)			X	340	106
108 Boquerones			X	432	141
112 Cajas, Las			X	382	132
118 Casanova- Los Patos			X	392	125
129 Carranchola, La			X	678	228
135 Herradura, La			X	636	203
136 Hoyo de Manicaragua			X	875	296
143 Lima, La			X	328	114
151 María Rodríguez			X	311	108
153 Marino, El			X	662	230
166 Pico Blanco			X	380	138
168 Piedra, La			X	444	155

CIFUENTES	14	6	8	24237	8235
001 Cifuentes		X		8903	2976
002 Mata		X		1949	688
003 San Diego del Valle		X		4907	1600
004 Unidad Proletaria		X		944	344
005 Vaquerito, El		X		1170	410
006 Wilfredo Pagés		X		1112	365
113 Braulio Coroneaux			X	1180	394
169 Juan Francisco Aro			X	536	184
192 Mariana Grajales			X	1003	374
254 Sitio Grande			X	661	250
257 Tajadora			X	604	209
286 Indio, El			X	342	117
302 Manuelita Larrondo			X	404	138
900 San Miguel			X	522	186
SANTO DOMINGO	18	8	10	45583	15471
001 Santo Domingo		X		16235	5252
002 Cascajal		X		6333	2236
003 George Washington		X		2090	710
004 Sabino Hernández		X		1056	353
005 Manacas		X		7904	2691
006 Rodrigo		X		1424	509
007 Mordazo		X		2424	844
008 Veintiséis de Julio		X		1434	470

RANCHUELO	19	6	13	49590	15568
001 Ranchuelo		X		16804	5078
002 Carlos Caraballo		X		1267	404
003 Esperanza		X		11555	3624
004 Jicotea		X		2818	886
005 San Juan de los Yera		X		6809	2206
006 Ifraín Alfonso		X		1440	466
131 Campa, La			X	349	120
145 Castaño			X	601	192
160 Delicias			X	732	223
163 Diez de Octubre			X	1012	321
183 Guayabal			X	405	120
188 Crucero Hierro, El			X	823	306
189 Horqueta-Tocino			X	1502	484
227 Osvaldo Herrera			X	1196	374
253 Chucho Pozo			X	411	131
276 San José			X	343	108
357 Platanical			X	573	187
383 Tumba la Burra			X	531	190
391 Nueve de Abril			X	419	148

Anexo 7: Resumen económico

Tabla 1. Resumen de costos outdoor 1200 pares.

RESUMEN DE COSTOS Outdoor 1200 pares		
Título T. T.	Outdoor 1200 pares	
Código SAP:	0	
No. Tarea Técnica	0	
PLANTA EXTERIOR		
km - cor. / km - sot. :	7,00	0,06
ITEM	COSTO (USD)	
PROYECTOS PLANTA EXTERIOR		
Proyección		0,00
Transporte		275,63
Otros		119,00
TOTAL PROYECTOS PLANTA EXTERIOR		394,63
CONSTRUCCIÓN PLANTA EXTERIOR		
Materiales		46517,22
Instalación		924,00
Permisos		1530,00
Transporte		206,17
CONSTRUCCIÓN PLANTA EXTERIOR		49177,39
TOTAL PLANTA EXTERIOR		49572,01
MDF		
ITEM	COSTO (USD)	
PROYECTOS MDF		
Proyección		0,00
Transporte		0,00
Otros		
PROYECTOS MDF		0,00
EJECUCIÓN MDF		
Materiales		0,00
Instalación		0,00
Transporte		0,00
EJECUCIÓN MDF		0,00
TOTAL MDF		0,00
CONSTRUCCIÓN CIVIL		
ITEM	COSTO (USD)	
PROYECTOS CONSTRUCCIÓN CIVIL		
Proyección		0,00
Transporte		6,32
Otros		4,20
PROYECTOS CONSTRUCCIÓN CIVIL		10,52
EJECUCIÓN CONSTRUCCIÓN CIVIL		
Co nstrucción		1410,00
Permisos		597,30
EJECUCIÓN CONSTRUCCIÓN CIVIL		2007,30
TOTAL CONSTRUCCIÓN CIVIL		2017,82

Tabla 2. Resumen de costos de materiales de la planta exterior.

	Material	U	Cant.	C. Unit.	C.Total (USD)
1042000077	Cable 24FO SM G652D Dieléctrico Antiroed	m	4800	1,09	5232,00
1042003813	ODF 12 FO SC/PC P/Rack 19"	u	2	265,07	530,14
1042000015	Módulo D/Empalme Capuchón H/36 FO 5 Entradas	u	2	289,07	578,14
5017090018	Subconductor Sencillo (Monotubo) de 32x3 mm Rojo	m	4000	1,17	4680,00
5017090019	Subconductor Sencillo (Monotubo) de 32x3 mm Verde	m	4000	1,17	4680,00
5017090020	Subconductor Sencillo (Monotubo) de 32x3 mm Azul	m	4000	1,17	4680,00
5017090051	Tapón Abier. P/Ducto C/Adap. D/Cierre de 32 mm	u	100	7,06	706,00
5017093818	Tapón Cerrado para Subconductor de 32 mm	u	260	6,87	1786,20
5017092402	Manguito de Unión P/Subconductor de 32 mm	u	40	2,01	80,40
4020109217	Taco-Brida M 8	u	450	0,06	27,00
4020100545	Brida Nylon Negra P/Ext 2,5x102N	u	30	0,01	0,30
4020100281	Brida Nylon Negra P/Ext 4,8x268	u	60	0,06	3,60
4020100633	Brida Nylon Negra P/Ext 7,6x368N	u	450	0,11	49,50
1042000411	Elemento P/Identificación del cable FO	u	100	0,17	17,00
5025000264	Rotulador P/Placa Vinílica	u	4	1,00	4,00
	Otros				1945,72
				Total	25000,00

Costos 2 Outdoors 1200 prs	Columna1	Columna2
PE	103200	
FO	29500	
Tx	12000	
Cx Alcatel	59000	1008 Líneas
Cx Huawei	54000	960 Líneas
Total Alcatel	203700	
Total Huawei	198700	

Tabla 3. Resumen de costos de la planta exterior 2400.

Código	Descripción Materiales de la planta exterior 2400.	u	Costo u (usd)	Cant.	Costo Total (usd)
2040334203	MODULO MUERTO P/ANCLA 1,5 X 0,2	u	45,73	84	3841,32
2040100010	CABLE ACERO GALVANIZADO 10 MM 3/8"	kg	2,56	588	1505,28
5072003001	PIEDRA 3/4	m3	13,79	92	1268,68
5072000021	ARENA D/MINAS,RIOS BENEFIC.Y LAVADA	m3	4,20	92	386,40
2040210009	CABLE TELEFONICO CL 400X2X0.4	m	14,48	600	8688,00
2040210010	CABLE TELEFONICO CL 600X2X0.4	m	21,37	400	8548,00
2040210013	CABLE TELEFONICO CL 1200X2X0.4	m	25,83	100	2583,00
2040210014	CABLE TELEFONICO CL 1800X2X0.4	m	38,75	200	7750,00
2040210016	CABLE TELEFONICO CL 2400X2X0.4	m	43,52	4000	174080,00
2040210405	CABLE TELEFONICO CLA 10X2X0.4	m	0,87	2400	2088,00
2040210407	CABLE TELEFONICO CLA 30X2X0.4	m	1,70	4080	6936,00
2040210408	CABLE TELEFONICO CLA 50X2X0.4	m	2,48	5400	13392,00
2040210410	CABLE TELEFONICO CLA 100X2X0.4	m	4,15	4200	17430,00
2040210412	CABLE TELEFONICO CLA 200X2X0.4	m	8,18	1320	10797,60
2040210411	CABLE TELEFONICO CLA 400X2X0.4	m	14,87	600	8922,00
2040310407	CAJA TERMINAL 10 PARES MULTISERV S/COLA	u	47,17	348	16415,16
2040310507	CAJA TERMINAL DE 30PARES C/COLA	u	97,60	6	585,60
2040310801	LETRA A REFLEJANTE P/TERMINALES AEREOS	pieza	0,08	1110	88,80
2040310802	NUMERO 1 REFLEJANTE P/TERMINAL AEREO	pieza	0,08	720	57,60
2040311001	GABINETE C/CAPACIDAD 1200 PARES-ARMARIO	u	1846,52	6	11079,12
4020100926	CONECTOR PERRO D/BRONCE P/CABLE 1/0 AWG	u	3,24	366	1185,84
2040330066	MODULO DE VARILLA DE TIERRA	u	13,11	732	9596,52
2040160432	CABLE ELECTRICO TWK 4 AWG(21.15mm ²)	m	3,69	2196	8103,24
2040121085	MINIPICABON RELLENO AZUL	u	0,11	22800	2508,00
2040300803	MODULO EMPATE MEC UCN-7-10 (400/600)	u	105,79	1	105,79
2040121058	VALVULA SOBREPASO DOBLE U76820	u	59,08	1	59,08
3040263017	F PRESSURE TESTING VALVE PEC-501	u	1,23	4	4,92
3040263013	FLANGE FITTING PEC-426-A F	u	5,77	1	5,77
3040263011	SEALING CLAMP PEC-405 C	u	3,45	1	3,45
3040260420	CHECK VALVE CPE-356A (1/8MPT X 3/8 PL)	u	17,79	1	17,79
3040260504	CODO P-AIRE D/PRESURIZACION P-3165	u	42,13	1	42,13
3040263018	PEC-505 R VALVE CAP	u	0,73	5	3,65
	OTROS				19705,53
			TOTAL		413816,15

Anexo 8: Principales características de equipos y tecnologías

Tabla 1. Principales características de WI-MAX.

	802.16-2001	802.16-2004	802.16e-2005
Espectro	10 - 66 GHz	2 - 11 GHz	2 - 6 GHz (frecuencia licenciadas)
Funcionamiento	Solo con visión directa	Sin visión directa (NLOS)	Sin visión directa (NLOS)
Tasa de bit	32 - 134 Mbps con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mbps con canales de 20 MHz	Hasta 15 Mbps con canales de 5 MHz
Modulación	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDMA escalable de 256, 512, 1024, 2048 subportadoras
Movilidad	Sistema fijo	Sistema fijo	Wimax alcanza movilidad obligatoria de hasta 60 km/h y opcionalmente puede llegar a implementarse hasta 120 km/h
Anchos de banda	20, 25 y 28 MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz	Seleccionables entre 5 y 10 MHz
Radio de celda típico	2 - 5 km aprox.	5 - 10 km aprox. (alcance máximo de unos 50 km)	2 - 5 km aprox.
Implementación Wimax	Sin implementación Wimax	Wimax Fijo	Wimax Móvil

Tabla 2. Principales características del *switch* Huawei S9300.

Características	10G Gigabit Switches HUAWEI S9300
Enrutamiento IP	Soporta los protocolos de enrutamiento de IPv4, como RIP, OSPF, BGP, y IS-IS.
Multicast	Soporta control de tráfico de multidifusión.
Confiabilidad	Soporta Ethernet OAM (802.3ah y 802.1ag).
Seguridad y manejo	Soporta autenticación 802.1xy autenticación portal
Dimensiones del chasis (ancho x profundidad x altura) (Pietrosemoli et al.)	442 × 476 × 175
Peso del chasis (vacío)	<15Kg
Voltaje de funcionamiento	DC: 38.4V a 72V-AC: 90V a 290V

Anexo 9: Características técnicas de *splitter*Tabla 1. Características de *splitter*.

Módulo conectores SC/APC	115 x 75 x 8,5 mm	1x2	Cordón 2 mm	
		1x4		
1x16				
1x32				
115 x 75 x 15 mm	1x64			

Características fundamentales (elemento individual)						
Configuración de los splitters	1 x 2	1 x 4	1 x 8	1 x 16	1 x 32	1 x 64
Longitud de onda	1260-1360 nm , 1450-1650 nm					
Tecnología	Fusión			PLC		
Pérdidas inserción (dB)	≤ 3,7	≤ 7,3	≤ 10,5	≤ 13,7	≤ 17,1	≤ 20,5
PDL (dB)	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,25	≤ 0,3	≤ 0,4	≤ 0,5
Uniformidad	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,3	≤ 1,5	≤ 2,5
Pérdidas de Retorno (dB)	> 50			≥ 55		
Directividad (dB)	> 50			≥ 55		
Temperatura de operación (°C)	- 20 / 70			- 40 / 85		
Puertos de entrada y salida por defecto	Fibra monomodo Ø 250 µm de bajo radio de curvatura					
Longitud mínima de fibras (m)	≥ 2,5					
Puertos de salida	2 fibras SM	Ribbon 4 fibras x 1 (2,5 m fibras individua- les)	Ribbon 8 fibras x 1 (2,5 m fibras individua- les)	Ribbon 8 fibras x 2 (2,5 m fibras indivi- duales)	Ribbon 8 fibras x 4 (2,5 m fibras indivi- duales)	Ribbon 8 fibras x 8 (2,5 m fibras indivi- duales)
Dimensiones cuerpo (mm)	Ø 3,2 x 54	4 x 4 x 38	4 x 4 x 40	7 x 4 x 46,9	7 x 4 x 46,9	12 x 4 x 58

Características ambientales (elemento individual)						
Configuración splitter	1 x 2	1 x 4	1 x 8	1 x 16	1 x 32	1 x 64
Temperatura de operación	-20°/ +70°C		-40°/+85°C			
Temperatura de almacenamiento	-40°/+85°C					
Humedad máxima de operación y almacenamiento	93 %					

